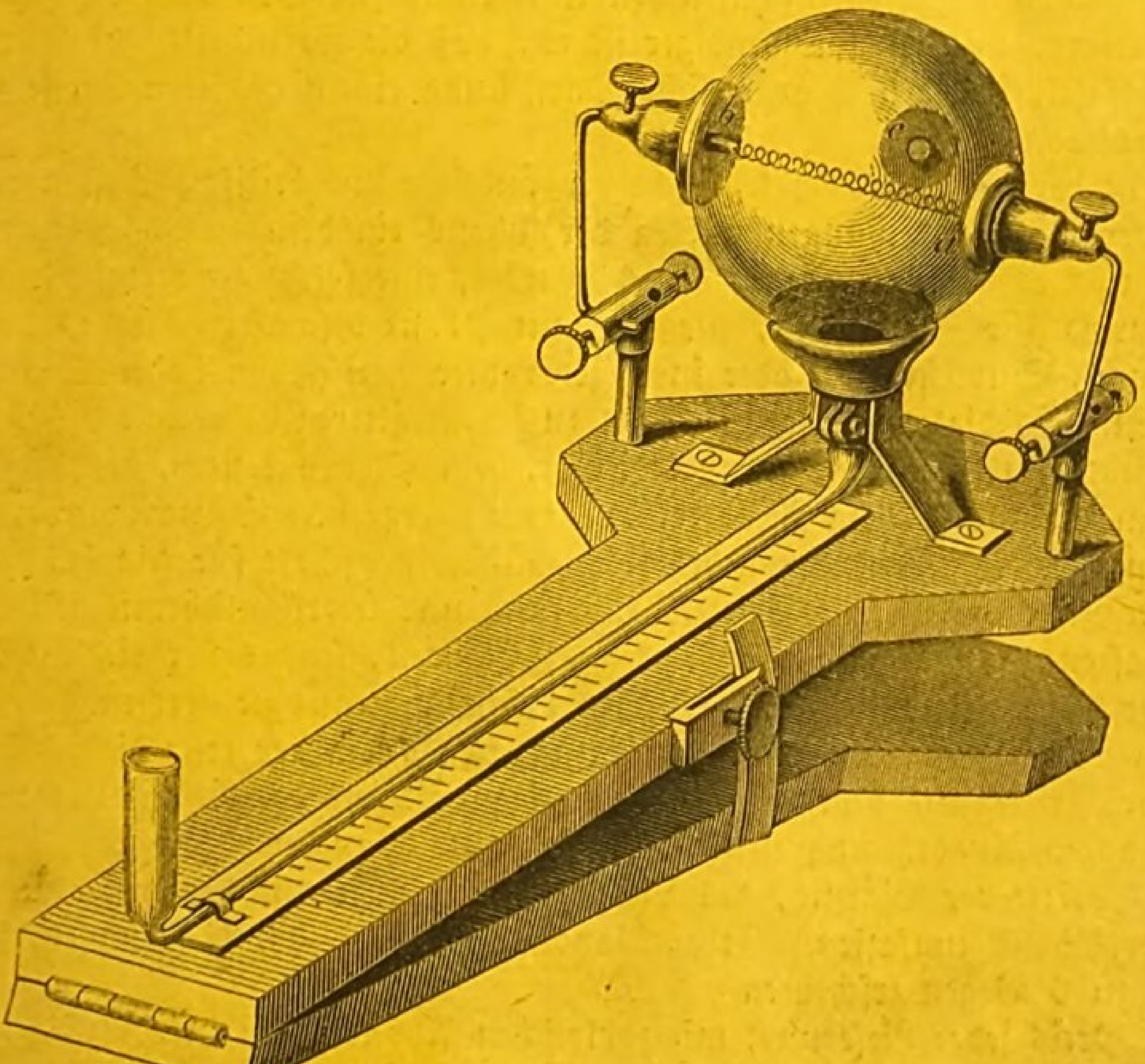
Phys
56 m

Aufgelegt am 12/3

Bericht
über die
neueſten Fortſchritte
der
Phyſik.

In
ihrem Zuſammenhange dargeſtellt
von

Dr. Joh. Müller,
Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg
im Breisgau.



Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzſchnitten.

Erſte und zweite Lieferung.

Braunſchweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1849.

Ankündigung.

Je raſcher die Fortſchritte ſind, welche in den Naturwiſſenſchaften gemacht werden, je mehr Material durch das raſtloſe Streben der Naturforſcher angehäuft wird, deſto ſchwieriger wird es, dem Gange der Entdeckungen zu folgen und ſich auf der Höhe der Wiſſenſchaft zu erhalten.

Dieſe Behauptung, für alle Zweige der Naturwiſſenſchaften wahr, findet auch im vollen Maaße ihre Anwendung auf die Phyſik. Je unentbehrlicher phyſikaliſche Kenntniſſe einem Jeden ſind, der irgend einen Zweig der Naturwiſſenſchaften mit Erfolg zu cultiviren gedenkt, je mehr Bedeutung die Phyſik für das praktiſche Leben gewinnt und je mehr man die Nothwendigkeit eines gründlichen naturwiſſenſchaftlichen Unterrichts für Schulen und Univerſitäten erkennt, um ſo nothwendiger iſt es, daß die Fortſchritte der Phyſik durch leichtfaßliche und doch gründliche Darſtellung einem größeren Kreiſe zugänglich gemacht werden.

So iſt denn eine geordnete, leicht verſtändliche und kritiſche Zuſammenſtellung der neueren Errungenſchaften der Phyſik ein dringendes Bedürfniß geworden und es iſt die Aufgabe dieſes Werkes, eine ſolche zu vermitteln.

Es wird für Jedermann, der ſich mit Phyſik beſchäftigt, ſey es durch Fachſtudium, Selbſtſtudium oder in angewandter Weiſe, von hoher Wichtigkeit werden. Es bietet die Ergänzungen zu jedem älteren Lehrbuche der Phyſik und giebt dem Chemiker, dem Mediciner, dem Pharmaceuten, dem Ingenieur, dem Techniker, dem Induſtriellen, dem Berg- und Hüttenmanne, jedem, dem die Phyſik eine unentbehrliche Hülfswiſſenſchaft für ſein Fach iſt, das bisher nicht vorhandene Mittel, ſich raſch und überſichtlich mit den Errungenſchaften der Phyſik in den letzten 10 Jahren, ſey es für die Wiſſenſchaft oder die Anwendung im praktiſchen Leben, vertraut zu machen.

Das Werk wird zwei Bände umfaſſen, von denen der erſte die phyſikaliſchen Fortſchritte auf dem unendlich wichtigen Gebiete der Elektricitätslehre in ihrer ganzen Ausdehnung enthält. Der zweite Band wird die Fortſchritte auf dem Gebiete der Wärme, des Lichts, der Akuſtik und des mechaniſchen Theils der Phyſik umfaſſen. Jeder Band wird in 4 — 6 Lieferungen, jede Lieferung zu 6 Bogen erſcheinen.

Der Preis jeder Lieferung, mit zahlreichen Abbildungen in Holzſtich, iſt ½ Thlr. Nach Vollendung des zweiten Bandes wird wohl ſo viel Material vorhanden ſeyn, um denſelben Cyclus von Neuem zu beginnen, der dann aber wohl einen kürzeren Zeitraum als 10 Jahre umfaſſen wird.

Braunſchweig, Januar 1849.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Bericht

über die

neueſten Fortſchritte

der

Phyſik.

In

ihrem Zuſammenhange dargeſtellt

von

Dr. Joh. Müller,

Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau.

In zwei Bänden.

Erſter Band.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzſchnitten.

Braunſchweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1849.

Nachricht

über die

neueſten Fortſchritte

der

Phyſik

KÖNIGL. BAYER. BIBLIOTHEK BAMBERG

Braunſchweig,

Vorrede.

Wenn ich mit einem Berichte über die neueren Fortſchritte der Phyſik auftrete, während unſere Literatur bereits mehrere Repertorien und Jahresberichte zählt, an welchen ſich Männer betheiligen, welche ſich der allgemeinſten Anerkennung erfreuen, ſo läßt ſich ein ſolches Unternehmen nur dadurch rechtfertigen, daß mein Bericht eine weſentlich andere Tendenz verfolgt als jene. In der That iſt es die Aufgabe jener Werke, dem Leſer in kurzer Ueberſicht alle die Arbeiten und Unterſuchungen vorzulegen, welche von Jahr zu Jahr auf dem fleißig bebauten Felde der phyſikaliſchen Forſchung geliefert werden, während mein Streben dahin geht, nicht allein darüber zu berichten, was in der neueren Zeit geliefert worden iſt, ſondern auch dieſe Fortſchritte durch eine entſprechende Darſtellung einem größeren Kreiſe von Freunden der Wiſſenſchaft zugänglich zu machen.

Um dieſen Zweck zu erreichen, mußte ich zunächſt den Plan aufgeben, von dem ich urſprünglich ausgegangen war, nämlich den Plan, einen phyſikaliſchen Jahresbericht auszuarbeiten. Nur dann iſt es möglich, die einzelnen Materien in gehöriger Abrundung darzuſtellen, wenn man ſich nicht auf die Arbeiten eines Jahres beſchränkt, ſondern wenn man die entſprechenden Unterſuchungen eines größeren Zeitraumes zuſammenſtellt. Ich dehnte dehalb meinen Bericht ungefähr über das letzte Decennium aus. Der vorliegende

Band beſpricht nur die Fortſchritte der Elektricitätslehre, welche ſich in der letzten Zeit ungleich größerer Erweiterungen zu erfreuen hatte, als die übrigen Zweige der Phyſik, die ich in ähnlicher Weiſe in einem folgenden Bande zu behandeln gedenke. Bis zur Vollendung dieſes zweiten Bandes iſt dann ohne Zweifel wieder Material genug vorhanden, um den Cyclus von neuem beginnen zu können, wenn es mir im Uebrigen die Umſtände vergönnen.

Es ſind mehrere Jahre über der Ausarbeitung des vorliegenden erſten Bandes dahingegangen, die einzelnen Kapitel deſſelben ſind alſo keineswegs gleichzeitig, ſie ſtellen nicht den gleichzeitigen Zuſtand der entſprechenden Theile der Elektricitätslehre dar. Ich habe es nicht für zweckmäßig gehalten, dies durch Nachträge zu den früheren Kapiteln auszugleichen, zum Theil, weil dadurch die Vollendung dieſes ohnehin ſchon voluminöſen Bandes abermals eine nicht unbedeutende Verzögerung erlitten haben würde; dann aber auch deshalb, weil ſolche Nachträge zu ſehr den aphoriſtiſchen Charakter tragen würden, welchen ich bis dahin gerade zu vermeiden ſuchte. Es ſchien mir zweckmäßiger, die Beſprechung der meiſten Forſchungen, welche mir erſt nach dem Drucke der entſprechenden Kapitel dieſes Buches bekannt werden für den nächſten Bericht über die Fortſchritte der Elektricitätslehre aufzuſparen.

Die wenigen Nachträge, welche ſich am Schluſſe dieſes Bandes befinden, berichten nur über Gegenſtände, welche zur Zeit, in welcher die entſprechenden Kapitel abgefaßt wurden, ſchon publicirt waren, welche aber gehörigen Orts zu beſprechen überſehen worden waren.

Was die Form betrifft, ſo habe ich die phyſikaliſchen Errungenſchaften des bezeichneten Zeitraums ungefähr in ſolcher Weiſe zu entwickeln und darzuſtellen geſucht, als ob ich ſie für die entſprechenden Kapitel eines mehr als gewöhnlich ausführlichen, aber deſſen ungeachtet elementar gehaltenen Lehrbuchs der Phyſik zu bearbeiten gehabt hätte.

Daraus ergiebt ſich nun auch, daß mein Bericht unmöglich auf diejenige Vollſtändigkeit Anſpruch machen kann, welche für die übrigen Repertorien und Jahresberichte weſentliche Aufgabe iſt. Dieſe haben in gedrängter Kürze eine möglichſt vollſtändige Ueber-

ſicht aller entſprechenden Arbeiten zu geben, während ich mit größerer Ausführlichkeit, aber nur das Wichtigere beſprechen muß.

Hiermit will ich nun nicht geſagt haben, daß ich Alles Wichtigere wirklich beſprochen habe, daß Alles, worüber ich ſchweige, damit als wiſſenſchaftlich werthlos bezeichnet ſein ſoll. — Fern ſey mir eine ſolche Anmaßung. — Wohl mag es ſein, daß mir bei den geringen literariſchen Hülfsmitteln, welche unſere Anſtalt bietet, bei meiner Entfernung von naturwiſſenſchaftlichen Centralpunkten Manches, namentlich von ausländiſchen Arbeiten unbekannt blieb, was der Erwähnung werth geweſen wäre, wohl mag es auch ſein, daß ich von deutſchen Unterſuchungen ſchweige, welche den Keim zu bedeutenden Forſchungen in ſich tragen, weil ſie mir bei dem gegenwärtigen Zuſtand ihrer Entwickelung noch nicht recht zur Beſprechung an dieſer Stelle gereift oder geeignet erſchienen. Für meine Zwecke erwächſt jedoch daraus um ſo weniger ein weſentlicher Nachtheil, als dieſe in der Folge zu entſchiedener phyſikaliſcher Bedeutung ſich entwickelnden Anfänge gerade in einem ſpäteren Berichte die paſſendſte Stellung finden werden.

Es iſt in Deutſchland wenigſtens allgemein anerkannt, daß die Lehre vom Galvanismus erſt durch das Ohmiſche Geſetz eine feſtere Baſis erlangt hat und daß nur mit Hülfe deſſelben eine präciſere Methode in die galvaniſchen Forſchungen eingeführt werden konnte. Erſt dann aber wird die Wiſſenſchaft den vollen Gewinn aus dieſem Geſetz zu ziehen im Stande ſeyn, wenn allgemein beſtimmte Einheiten für Stromſtärke, Leitungswiderſtand und elektromotoriſche Kraft in Anwendung gebracht werden; erſt wenn die numeriſche Beſtimmung der Conſtanten galvaniſcher Elektromotoren allgemein an die Stelle der jetzt noch üblichen vagen Angaben*)

*) Wie nothwendig es iſt, daß in dieſer Beziehung endlich klarere Vorſtellungen verbreitet werden, zeigen uns recht auffallend die »Elemente der Elektrometallurgie von Alfred Smee,« von deren dritter Auflage kürzlich eine deutſche Ueberſetzung erſchienen iſt (Leipzig, bei Ambr. Abel). Auf das Ohmiſche Geſetz hält Smee nicht viel, er ſagt: »In dieſer Formel »fehlen die Quantität und die Intenſität und ſie paßt einzig auf die Con- »tacttheorie keineswegs auf die chemiſche Theorie der Säule, welche man »jetzt allgemein in England angenommen hat.« Man kann ſich denken, in welchem Chaos ſich Smee bei Vergleichung verſchiedener galvaniſcher Combinationen und

getreten ſeyn wird, ſo daß man mit Beſtimmtheit den Effect berechnen kann, den eine gegebene galvaniſche Combination unter beſtimmten Verhältniſſen geben kann und muß, wird auch die Technik mit größerer Sicherheit galvaniſche Ströme in Anwendung zu bringen im Stande ſein. Ich habe deshalb auf dieſen Punkt vorzugsweiſe meine Aufmerkſamkeit gerichtet und habe die Anwendung der Jakobi'ſchen Einheiten, welche mir für den allgemeinen Gebrauch die paſſendſten ſchienen, in einer Ausdehnung durchzuführen verſucht, wie es bisher noch nicht geſchehen iſt.

Seit das erſte Heft dieſes Berichtes erſchienen iſt, ſind bereits drei Jahre verfloſſen. Bei dem beſten Willen war es mir nicht möglich, neben meinen andern Berufsgeſchäften das Erſcheinen dieſes Werkes raſcher zu fördern. Um noch größere Verzögerung zu verhindern, ſah ich mich nach fremder Hülfe um. Herr Profeſſor Frick übernahm es, die praktiſchen Anwendungen der Elektrolyſe, die Thermoelektricität und das elektriſche Chronoſcop zu bearbeiten. Das Kapitel über die elektriſche Telegraphie rührt von Herrn Profeſſor Schellen her. Ich fühle mich dieſen Herren für die mir geleiſtete Unterſtützung ſehr zu Dank verpflichtet.

Freiburg im December 1851.

J. Müller.

---

ihrer Wirkungen verlieren muß, da er die einzig ſichere Grundlage einer ſolchen Vergleichung von der Hand wieß. Folgendes Beiſpiel mag genügen, um den Standpunkt zu charakteriſiren, welchen Smee in dieſer Beziehung einnimmt. Er ſagt: (Seite 42 der Ueberſetzung) »Vielleicht kann ich annähernd das Verhältniß der Koſten angeben, welche die drei Batterieen in »ihrer Wirkſamkeit nöthig machen. In meiner ſtellen ſich die Koſten = »Zink + Säure + locale Wirkung. In der conſtanten Batterie ſind ſie »= Zink + Säure + ſchwefelſaures Kupfer + viel locale Wirkung Jede »Zelle derſelben würde um eine gewiſſe Wirkung zu thun etwa zweimal ſo »viel koſten als die meinige. In der Grove'ſchen Batterie haben wir die »Koſten = Zink + Säure + Salpeterſäure die durch den Waſſerſtoff zer»ſtört wird + Salpeterſäure, welche ſich mit dem Ammoniak verbindet, das »bei der Thätigkeit der Batterie gebildet wird + übermäßigen Verbrauch »von Zink, = wenigſtens dreimal ſo groß, als die welche die meinige er»fordert.« [?]

Alphabetiſches Inhaltsverzeichniß.

A.

	Seite
Abbildungen, elektriſche	181
Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität	161
» freiwillige, aſtatiſcher Nadeln	782
» aſtatiſcher Nadeln durch den Multiplicatordraht	784
Abria, mechaniſche Wirkungen des Entladungsſchlages	88
Abſtoßung an der inneren Belegung der Batterie	91
Aetzen, durch Galvanismus	466
Agometer	299
Alexander, Waſſerzerſetzung durch die Thermoſäule	848
Andrieſſen, Elektroſkop	20
Anhäufung von Flüſſigkeiten am negativen Pol	433
Anker, Einfluß derſelben auf die Tragkraft der Magnete	488
Armſtrong, Elektricitätserregung durch Waſſerdampf	5
» Elektrolyſe durch Hydroelektricität	11
Aſtatiſche Nadeln, freiwillige Ablenkung derſelben	782
Atmoſphäriſche Elektricität, Apparat zur Beobachtung derſelben	30

B.

Bagrotion, galvaniſche Kette	279
Bakewell, elektrochemiſcher Telegraph	609
Bain, Nadeltelegraph	569
Bäuſche	790
Beleuchtung, galvaniſche	418
Becquerel, Theorie der Zitterfiſche	779
» Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderſtand der Metalle	309
» Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten	321
» Unterſuchungen über Elektrolyſe	439
Berichtigungsſtab	787
Bertin, Unterſuchungen über magnetiſche Circularpolariſation	720
Bilder, elektrolytiſche	184
Bindung, elektriſche	33
Blitzableiter, für Telegraphen	621
Blitzplatten	623
Botto, Waſſerzerſetzung durch die Thermoſäule	848
Buff, Unterſuchungen über galvaniſche Polariſation	333
» Beſtimmung des Leitungswiderſtandes der Metalle	305

	Seite
Büſchel, elektriſche	193
» in verſchiedenen Gaſen	195
» in dichteren Mitteln	196
» Verſchiedenheit bei poſitiver und negativer Entladung	196
Bunſen'ſche Kette	285

C.

Caſſelmann, Leuchtkraft des galvaniſchen Flammenbogens	409
Callan, Zink-Bleikette	287
Chemiſche Wirkungen des Stromes	425
Chronoſkop, elektriſches	854
Collodium	222
Combination, zweckmäßigſte, Volta'ſcher Elemente	288
Condenſator, Theorie deſſelben	71
Conſtanten, die, der Volta'ſchen Kette	240
» indirecte Beſtimmungen derſelben	265

D.

Daniell'ſche Kette	282
Daniell, Unterſuchungen über Elektrolyſe	425
Dal Negro, elektromagnetiſche Kraftmaſchine	539
Dauer momentaner Ströme	650
De La Rive, über den galvaniſchen Flammenbogen	416
» » » über galvaniſche Töne	634
Dellmann, Elektroſkop	26
Despretz, Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Flammenbogen	414
Diamagnetismus	714
» Theorie deſſelben	736
» der Flamme	742
» der Gaſe	745
Diamagnetiſche Körper	730
Differential-Widerſtandsmeſſer	301
Donné und Foucault photo-elektriſches Mikroſkop	420
Dove, Ladungsſtrom	167
» Unterſuchungen über inducirte Ströme	688
Drehung, elektromagnetiſche, der Polariſationsebene	714
Drehwage	22
Drucktelegraphen	590
Dub, Einfluß der Anker auf die Tragkraft der Elektromagnete	489
Du Bois-Raymond, Unterſuchungen über thieriſche Elektricität	768
» » » Verſuche über den Muskelſtrom	801
» » » Verſuche über den Nervenſtrom	828
» » » Multiplicator deſſelben	781
Dynamometer, galvaniſches	652

E.

Edlund, Verſuche über den Extraſtrom	696
Einheit der Stromſtärke	240
Eiſen, Paſſivität deſſelben	360
Eiſenlohr, Inductionsſpirale für Reibungselektricität	144
Eiweißhäutchen	791
Elektricität des Maſchinenpapiers	1
» verſchiedene, des Glaſes	3

Seite

Elektricitätserregung durch ausſtrömenden Waſſerdampf 5
» durch ausſtrömende flüſſige Kohlenſäure . . . 10
» durch Vegetation 16
Elektriſche Ströme, Claſſification derſelben 699
Elektriſirmaſchine 16
Elektrolyſe durch Hydroelektricität 11
» Daniell's Unterſuchungen über 425
» Becquerel's Unterſuchungen über 439
» organiſcher Körper 445
» polybaſiſcher Salze 434
Elektrodynamik 649
» Zuſammenhang ihrer Geſetze mit denen der Elektroſtatik 664
Elektromagnete, Tragkraft derſelben 485
» Tragkraft bei zunehmender Entfernung des Ankers . 487
Elekromagnetiſche Apparate 684
Elektromagnetiſche Triebkraft 538
» » Koſten derſelben 547
Elektromagnetismus, Geſetze deſſelben nach Lenz und Jakobi . . . 482
» » » » Müller 494
Elektromotoriſche Kraft 260
Elektrophor von Gutta=Percha 221
Elektroſkop 20
» nach dem Princip der Drehwage 26
Elektrotoniſcher Zuſtand der Nerven 831
Entladung 98
» dunkle 199
» fortführende 200
Erwärmung im Schließungsbogen der Batterie 102
Erwärmungsvermögen der Metalle 130
Extraſtrom, Einfluß der Eiſendrahtbündel auf denſelben 686
» für Reibungselektricität 694

F.

Faraday, Geſetze der Elektricitätsentwickelung durch Waſſerdampf . . 7
» Unterſuchungen über Funken und Lichtbüſchel 186
» Unterſuchungen über gebundene Elektricität 55
» Vertheilung in krummen Linien 62
» Theorie der Vertheilung 64
» Induction durch Erdmagnetismus 708
» elektromagnetiſche Drehung der Polariſationsebne 714
Farbenringe, galvaniſche 467
Fechner, elektriſche Vertheilung und Bindung 35
» Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen 789
Figuren, elektriſche 111
Fizeau und Foucault, Lichtſtärke des galvaniſchen Flammenbogens . . 411
Flammen, elektriſche Wirkungen derſelben 80
Flammenbogen, galvaniſcher, Leuchtkraft deſſelben 409
Flüſſigkeiten, Verhalten derſelben gegen ſtarke Magnetpole 747
Froſchſchenkel, ſtromprüfender 793
Froſchſtrom 776
» elektromagnetiſche Wirkungen deſſelben 776
Frick, über die Elias'ſche Magnetiſirungsmethode 479
Funken, galvaniſche 422
» elektriſche, in verſchiedenen Gaſen 192
Funkenmikrometer 94

G.

	Seite
Galvaniſche Polariſation	315
» » Abhängigkeit derſelben von der Stromſtärke	326
» » numeriſche Beſtimmung derſelben	328
» » an platinirten Platinplatten	331
» » Verminderung derſelben durch Erwärmung der Flüſſigkeit	335
» » Urſache derſelben	336
Galvaniſches Licht, Benutzung deſſelben zur Beleuchtung	415
Galvanoplaſtik	448
Garnier, galvaniſche Kette	279
Gasbatterie	345
» Theorie derſelben	347
Gaſſiot, galvaniſcher Funken	422
» Waſſerbatterie	422
Gauß und Weber, Nadeltelegraph	562
Gebundene Elekticität, Knochenhauer's Geſetz	45
» » verhält ſich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung	50
» » Faraday's Unterſuchungen	55
Gegenſtrom	694
Geruch, elektriſcher	212
Geſchwindigkeit der Elektricität	861
Glimmentladung	198
Glühen von Metalldrähten durch den Entladungsſchlag	133
» durch den galvaniſchen Strom	384
» galvaniſches, in verſchiedenen Gaſen	397
Grove'ſche Kette	283
Grove, Gasbatterie	345
» galvaniſches Glühen in verſchiedenen Gaſen	395
» Einwirkung des glühenden Platindrahtes auf verſchiedene Gaſe	397
» Zerlegung des Waſſerdampfes	400
Grüel, Elektriſirmaſchine	221
Gutta-Percha, Elektricität deſſelben	2

H.

Häcker, Tragkraft der Stahlmagnete	473
» Schwingungsdauer von Magnetſtäben	476
Hankel, elektriſches Papier	1
» Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten	324
» Magnetiſirung von Stahlnadeln durch den Entladungsſchlag	167
» Theorie des Diamagnetismus	741
Hauchfiguren, elektriſche	179
Hauchbilder, elektriſche	182
Heintz, verſchiedene Elektricität des Glaſes	3
Henrici, über thermoelektriſche Ströme	849
Henry's Unterſuchungen über Induction	704
Horsford, Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten	319
Hydroelektricität, Geſetze derſelben	7
Hydroelektriſirmaſchine	10
Hyperoxydketten	343
Hipp, elektriſches Chronoſkop	859

J.

Seite

Jakobi, Einheit der Stromſtärke 240
» Beſtimmung der Conſtanten Volta'ſcher Ketten 266
» elektromagnetiſche Kraftmaſchinen 539
Induction 704
» Theorie derſelben 670
» durch Erdmagnetismus 708
Inductionsinclinatorium 710
Inductionsſtröme höherer Ordnung 706
Influenzelektricität 71
Jolly, Elektricitätserregung durch ausſtrömende Kohlenſäure 10
Joule, galvaniſche Wärmeerregung 375
Joule und Scoresby, Theorie der elektromagnetiſchen Motoren . . 555
Iſo-elektriſche Kurven 813

K.

Karſten, elektriſche Abbildungen 181
Knochenhauer, Geſetze der gebundenen Elektricität 45
» elektriſche Vertheilung und Bindung 35
» Arbeiten über den Nebenſtrom 162
Kohlrauſch, Elektroſkop 29
» elektromotoriſche Kraft Volta'ſcher Ketten iſt der Spannung der offnen Kette proportional 262
Kolbe, Oxydation durch den am poſitiven Pol ausgeſchiedenen Sauerſtoff 442
» Elektrolyſe organiſcher Körper 445
Koppinsky, galvaniſche Kette 279
Kraftmaſchine, elektromagnetiſche 538
» Conſtruction derſelben 548
» Theorie derſelben 552
Kramer, Abnahme der Tragkraft der Elektromagnete bei wachſender Entfernung der Pole 487

L.

Ladungsſtrom der elektriſchen Batterie 166
Leitung für elektriſche Telegraphen 612
Leitungswiderſtand der Metalle 305
» Abhängigkeit deſſelben von der Wärme 308
» des menſchlichen Körpers 311
» der Flüſſigkeiten 317
» Einfluß der Temperatur auf denſelben 324
Lenz, Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderſtand der Metalle . 308
» Geſetze der galvaniſchen Wärmeentwickelung 376
Lenz und Jakobi, Geſetze des Elektromagnetismus 482
Lichtbogen, Volta'ſcher 408
» Einwirkung des Magnetismus auf denſelben 415
Lichterſcheinung am Inductionsapparat 424
Linari und Palmieri, Induction durch den Erdmagnetismus . . . 709
Logeman und Wetteren, Stahlmagnete 475
Luftelektricität, Quelle derſelben unbekannt 13
Luftthermometer, elektriſches 113
» Theorie deſſelben 116

M.

Maaß für die Ladung der Batterie 89

Seite
Maaßbeſtimmungen, elektrodynamiſche 650
Magnetiſirung durch den Entladungsſchlag 145
» durch den Nebenſtrom 146
» von Stahlſtäben 479
Magnetiſcher Zuſtand aller Körper 729
Magneto-elektriſcher Rotationsapparat 676
Matteucci, Unterſuchungen über thieriſche Elektricität 777
Maſſon, Unterſuchungen über elektriſche Photometrie 204
Maximum, abſolutes magnetiſches 497, 511
Mechaniſche Wirkungen des Entladungsſchlages 88
Melloni, Anwendung des Berichtigungsſtabes 787
Mikroſkop, photoelektriſches 420
Moment, magnetiſches, eines Kreisſtromes 649
Momentane Ströme, Dauer derſelben 676
Morſe's Drucktelegraph 592
Multiplicator für thieriſch-elektriſche Verſuche 781
Munk af Roſenſcöld, über Vertheilung und Bindung 69
Munke, Anfertigung der Thermoſäulen 847
Müller, über die Tragkraft der Elektromagnete 527
» Verſuche über galvaniſches Glühen 384
» über gebundene Elektricität 47
» Geſetze des Elektromagnetismus 497
Müller (aus Halle), Abhängigkeit des Leitungswiderſtandes der Flüſſigkeiten von der Temperatur 310
Muskelſtrom 801

N.

Nadeltelegraph, von Gauß und Weber 562
» engliſcher 563
Nebenſtrom 142
» Abnahme deſſelben bei wachſender Entfernung von der Hauptſpirale 150
» Einfluß benachbarter Leiter auf denſelben 150
» Richtung deſſelben 159
Neef, Lichterſcheinung am Inductionsapparat 414
Nervenſtrom 828
Niederſchläge an den Scheidewänden 431
Nobili, Farbenringe 467
» Verſuche über den Froſchſtrom 777
» Erklärung der freiwilligen Ablenkung aſtatiſcher Nadeln . . . 782
» thermo-elektriſche Säulen 845

O.

Oerſted, Elektroſkop 28
Oxydation durch den am poſitiven Pole ausgeſchiedenen Sauerſtoff . . 442
Ozon 213

P.

Page, galvaniſche Töne 633
Papier, elektriſches 1
Paſſivität des Eiſens 360
» anderer Metalle 383
» Theorie derſelben 380
Petrina. elektriſche Wirkungen der Flamme 87

Seite
Petrina, Elektroſkop 30
» elektriſche Vertheilung und Bindung . , ... 36
» magneto-elektriſche Rotationsmaſchine 676
Phosphor, Leuchten deſſelben durch Ozon 219
Phyſiologiſches Rheoſkop 793
Plücker, Diamagnetismus der Gaſe und Flammen. 742
» Verhalten der Flüſſigkeiten gegen ſtarke Magnetpole 747
Poggendorff, elektromagnetiſche Rotation des Queckſilbers 644
» Beſtimmung der elektromotoriſchen Kraſt in conſtanten Ketten 272
» Wippe 351
» thermoelektriſche Ketten 847
Polariſation, galvaniſche 312
» Urſache derſelben 336
» numeriſche Beſtimmung derſelben 328
» flüſſiger Körper 341
Polariſationsebne, elektromagnetiſche Drehung derſelben 714
Pouillet, Einheit der Stromſtärke 240
» elektriſches Chronoſkop 858
» Leitnngswiderſtand des menſchlichen Körpers 312
Ptſchelnikoff, Leitungswiderſtand des menſchlichen Körpers 311
Pyroelektricität 852

R.

Rees, van, elektriſche Eigenſchaften der Flamme 85
» » Vertheilung des freien Magnetismus in Stahlmagneten. . 519
Reich, durch Verdunſtung keine Elektricität erzeugt. 14
» diamagnetiſche Verſuche 736
Rieß, elektriſche Eigenſchaften der Flamme 80
» Schlagweite der elektriſchen Batterie 94
» Maaß für die Ladung der Batterie 89
» Erwärmung durch den Entladungsſchlag 102
» elektriſches Luftthermometer 113
» Glühen u. Schmelzen von Metalldrähten durch d. Enladungsſchlag 133
» Verſuche über den Nebenſtrom 142
» elektriſche Zeichnungen 175
» elektriſche Staubfiguren 175
» elektriſche Staubbilder 178
» elektriſche Hauchfiguren. 179
» elektriſche Hauchbilder 182
» elektrolytiſche Bilder 184
» Verbeſſerungen an der Drehwage 22
» elektriſche Vertheilung 34
» Influenzelektricität 71
» Theorie des Condenſators 71
Rheoſkop, phyſiologiſches 793
Rheoſtat 299
Roberts galvaniſches Felſenſprengen 405
Romershauſen, Elektroſkop 27
» Apparat zur Beobachtung der atmoſphäriſchen Elektricität 30
Rotation, elektromagnetiſche, des Queckſilbers 644

S.

Schlagweite der elektriſchen Batterie. 94
» ungleiche bei poſitiver und negativer Ladung 190

Seite
Schönbein, elektriſches Papier 1
» Urſache der galvaniſchen Polariſation 336
» Theorie der galvaniſchen Polariſation 341
» Paſſivität des Eiſens 360
» chemiſche Theorie des Galvanismus. 230
» elektriſcher Geruch 212
Schlitzſäule 846
Schmelzen, von Metalldrähten durch den Entladungsſchlag 133
Schraubklemmen 254
Schröder, Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen 789
Schwingungsdauer von Magnetſtäben 476
Secundäre Zuckung 822
Selen, elektriſcher Iſolator 5
Siemens und Halske, Zeigertelegraph. 579
Sinſteden, Spannungserſcheinungen an Inductionsſpiralen 700
Smee'ſche Kette 280
Spannungserſcheinungen an Inductionsſpiralen 700
Specifiſches Leitungsvermögen der Metalle 306
Sprengen der Felſen durch Galvanismus 404
Staubfiguren, elektriſche 175
Staubbilder, elektriſche 178
Steinheil, Telegraph. 563
» Erdleitung 563
Stöhrer, magnetoelektriſcher Rotationsapparat 676
» Doppelſtiftapparat 606
Strahlenſäule 845
Stromeinheiten, Vergleichung derſelben 243
Stromſtärke, Einheiten derſelben 240
» Beſtimmungen derſelben nach chemiſchem Maaß 247
Strömungskurven 813

T.

Telegraphie, elektriſche 557
Telegraph, elektro chemiſcher 609
Tetaniſiren 819
Thermoelektricität 845
Thermoſäule, Wirkungen derſelben 847
Thieriſche Elektricität 768
» » Geſchichte derſelben 769
Töne, galvaniſche 633
Tragkraft der Stahlmagnete 473
» der Elektromagnete 527
Triebkraft, elektromagnetiſche 538

U.

Ueberführung der Baſen. 437
Unipolare Induction 865
Unipolare Inductionszuckungen 800
Uhren, galvaniſche 625

V.

Vergleichung, verſchiedener galvaniſcher Ketten 298
Vergoldung und Verſilberung, galvaniſche 456
Vertheilung der Elektricität 33

Seite
Vertheilung in krummen Linien 62
» des freien Magnetismus in Stahlmagneten 519
Vertheilungsvermögen, elektriſches 56
Vorſſelman de Heer, über elektromagnetiſche Triebkraft 538
» » » Verminderung der galvaniſchen Polariſation durch Erwärmung der Flüſſigkeiten 335
» » » Wärmeentwickelung durch den Entladungsſchlag . 132

W.

Watkins Magnetiſirung und Funken durch die Thermoſäule 848
Waſſerbatterie 422
Waſſerdampf, Elektricitätsentwickelung durch Ausſtrömen deſſelben . . 5
Wärmeentwickelung durch den Entladungsſchlag 102
» durch den Nebenſtrom 146
» durch den galvaniſchen Strom 375
» durch den Flammenbogen 413
Wagner, elektromagnetiſche Kraftmaſchine 543
Weber, Theorie des Diamagnetismus 736
» Inductionsinclinatorium 710
» Zuſammenhang des elektrodynamiſchen und des elektroſtatiſchen Grundgeſetzes 664
» Theorie der Induction 670
» Beſtimmung der Dauer momentaner Ströme 650
» elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen 650
» Einheit der Stromſtärke 240
» Unipolare Induction 865
Wecker, elektromagnetiſcher 607
Weekes, galvaniſche Kette 280
Wertheim, galvaniſche Töne 638
Wheatſtone, Beſtimmung der Conſtanten Volta'ſchen Ketten 267
» Differentialwiderſtandsmeſſer 301
» elektriſches Chronoſkop 854
» Nadeltelegraph 563
Widerſtand, Volta'ſcher Elemente 252
Winter, Elektriſirmaſchine 17
Wippe 351
Wollaſton'ſche Kette 276

Z.

Zeigertelegraph 573
Zeichnungen, elektriſche 175
Zink-Eiſenkette 286
Zink-Bleikette 287
Zuckungen, Geſetz derſelben 794
» ſecundäre 822
» höherer Ordnung 824
Zuleitungsgefäße 789

Reibungselektricität.

Erſter Abſchnitt.

Elektriſches Verhalten verſchiedener Körper, Elektriſirmaſchinen und Elektrometer.

Elektricität des Maſchinenpapieres. Daß Papier durch Reiben elektriſch gemacht werden kann, iſt längſt bekannt; auch die Elektricitätserregung bei der Fabrikation des Maſchinenpapiers iſt keine neue Erſcheinung, und es mag wohl wenig Beſitzer von Papierfabriken geben, die ſie nicht beobachtet hätten, jedoch wird dieſe Erſcheinung zum erſten Male von Hankel (P. A. LV, 477) beſchrieben. 1

An einer jeden Papiermaſchine zeigt ſich das Papier, nachdem es die letzten Preßwalzen verlaſſen hat, ſtark negativ elektriſch. Nähert man dem Papierbande zwiſchen den Satinirwalzen und dem Haspel, auf welchem es aufgewunden wird, den Finger, ſo fährt aus demſelben ein Strahlenbüſchel gegen das Papier hin; eine Leidener Flaſche läßt ſich leicht laden. Auch das auf den Haspel aufgewundene Papier zeigt ſich elektriſch, namentlich wenn ſchon viel Papier auf den Haspel aufgewunden iſt. Wird das Papier von dem Haspel abgeſchnitten, und ſchlägt man die langen Papierbänder auseinander, ſo fahren ſehr ſtarke blitzende Funken dazwiſchen hin.

Es entſteht dieſe Elektricität offenbar nur durch die Erwärmung des Papiers und des Zuſammenpreſſens deſſelben mittelſt Walzen. Eine (gleitende) Reibung kann nicht ſtattfinden, weil die Umfangsgeſchwindigkeit ſämmtlicher Walzen genau gleich iſt.

Schönbein's elektriſches Papier. Durch ein der Bereitung der Schießbaumwolle ähnliches Verfahren iſt es Herrn Schönbein gelungen, das Papier in eine vollkommen durchſichtige Subſtanz zu verwandeln, welche durch das geringſte Reiben ſchon außerordentlich ſtark elektriſch wird (P. A. LXVIII, 159) und welches er zur Conſtruction einer Elektriſirmaſchine anwendete. 2

Eine ſolche Subſtanz muß dem experimentirenden Phyſiker im höchſten Grade willkommen ſeyn; um ſo mehr iſt es zu bedauern, daß die Herren Schönbein und Böttger bisher noch nichts weiter publicirt haben, obgleich in Berlin elektriſches Papier zum Verkauf ausgeboten wird. — In ſehr vielen Fällen läßt ſich das elektriſche Papier durch dünne Blätter von Gutta-Percha erſetzen.

3 **Elektricität der Gutta-Percha.** Gutta-Percha iſt ein ſo guter Iſolator und wird durch Reiben ſo ſtark elektriſch, daß dieſe Eigenſchaften des jetzt ſo vielfach angewandten Stoffes nicht lange verborgen bleiben konnten. Schon gegen Ende des letzten Winters machte mich Dr. Haſenclever aus Aachen in dieſer Beziehung auf die Gutta-Percha aufmerkſam, und ich hatte ſie ſchon zur Conſtruction eines Elektrophors benutzt, als ich im Märzheft des philosoph. Magazine einen Aufſatz von Faraday über dieſen Gegenſtand fand, von dem im Maiheft von Poggendorff's Annalen eine Ueberſetzung erſchien (P. A. LXXIV, 154). Faraday ſagt über die elektriſchen und iſolirenden Eigenſchaften der Gutta-Percha im Weſentlichen Folgendes.

Ein gutes Stück Gutta-Percha iſolirt ebenſo vollkommen, wie ein gleiches Stück Schellack, es mag die Form einer Tafel, eines Stabes oder eines Fadens beſitzen; allein da ſie zäh und biegſam in der Kälte und weich in der Wärme iſt, ſo thut ſie in vielen Fällen beſſere Dienſte als der ſpröde Schellack. In Form von Streifen und Schnüren bildet ſie ein vortrefflich iſolirendes Aufhängemittel, und in Form von Platten liefert ſie die zweckmäßigſten iſolirenden Unterlagen.

Durch Reiben wird die Gutta-Percha ſtark negativ elektriſch. Einige Gutta-Percha wird in ſehr dünnen Tafeln, kaum dicker als ein Papierblatt, verkauft; wenn ein Streifen von dieſer zwiſchen den Fingern hindurchgezogen wird, ſo iſt ſie ſo elektriſch, daß ſie an der Hand haftet und Papierſtückchen anzieht.

Eine Tafel Gutta-Percha liefert ein vortreffliches Elektrophor.

Nicht alle Gutta-Percha iſt ein ſo guter Iſolator. Wenn ein gut iſolirendes Stück durchgeſchnitten wird, ſo hat die Schnittfläche einen Harzglanz und eine compacte Beſchaffenheit, während ſie bei einem ſchlecht iſolirenden Stück nicht denſelben Grad von Glanz beſitzt, ſich weniger durchſcheinend erweiſt und nahe das Anſehn einer erſtarrten trüben Löſung beſitzt.

Wenn man ein leitendes Stück in einem Strome heißer Luft, oder in einem Glaſe über einer niedrigen Gasflamme erwärmt, ausſtreckt, faltet und einige Zeit zwiſchen den Fingern knetet, wie wenn man die darin enthaltene Feuchtigkeit ausdrücken wollte, ſo wird es ein eben ſo guter Iſolator wie das beſte.

Ein gut iſolirendes Stück Gutta-Percha vier Tage lang in Waſſer eingeweicht, erhält durch zwölfſtündiges Liegen an der Luft ſein Iſolationsvermögen wieder.

Ein nicht iſolirendes Stück wurde durch achttägiges Liegen in einem Trockenſchrank ſehr verbeſſert, eine äußere Schicht ward iſolirend; an friſchen Schnittflächen zeigte ſich aber das Innere noch leitend.

Gutta-Percha, einer allmälig bis auf 170 bis 180° C. geſteigerten Temperatur ausgeſetzt, gab einen bedeutenden Antheil Waſſer aus; nach dem Erkalten iſolirte die Maſſe ebenſo gut wie friſche Gutta-Percha.

Elektricität des geriebenen Glaſes. Es iſt bekannt, daß die Na- 4
tur der Elektricität, welche das Glas beim Reiben annimmt, davon abhängt, welches Reibzeug man anwendet. Nun aber hat Heintz (P. A. LIX, 305) ferner gezeigt, daß man durch verſchiedene Mittel das Glas in einen ſolchen Zuſtand verſetzen könne, daß es bei ſchwacher Reibung mit Körpern, die es ſonſt poſitiv elektriſch machen, negativ elektriſch wird.

Wenn man einen Glasſtab mehrmals durch die Flamme einer Spirituslampe zieht, wodurch er jede Spur etwa an ihm haftender Elektricität verlieren muß, wird er durch ſchwaches Reiben mit Tuch, welches doch gewöhnlich das Glas poſitiv elektriſch macht, negativ elektriſch, und erſt durch fortgeſetztes und ſtärkeres Reiben tritt die poſitive Elektricität wieder auf.

Es iſt nicht etwa die Wärme des Glasſtabes, welche dies veranlaßt, denn wenn man den durch die Flamme gezogenen Stab vollſtändig erkalten, ja wenn man ihn mehrere Tage ruhig liegen läßt, ſo wird er bei ſchwachem Reiben mit Tuch doch negativ elektriſch.

Dieſer Verſuch zeigt, daß die Wärme nicht die unmittelbare Urſache des oben erwähnten Phänomens iſt, es wäre aber doch möglich, daß die Wärme der Flamme die Urſache jenes Zuſtandes der Glasoberfläche ſey, vermöge deſſen ſie ſchwach gerieben negativ elektriſch wird. Doch iſt auch dies nicht der Fall, wie Heintz gezeigt hat.

Wenn man einen vollkommen gereinigten Glasſtab mit Stanniol umwickelt oder ihn in ein Glasrohr ſteckt und ihn dann in die Weingeiſtflamme hält, ſo daß er nicht unmittelbar von der Flamme beſpült, wohl aber erwärmt werden kann, ſo zeigt er die erwähnte Eigenthümlichkeit nicht, ſelbſt wenn er zu ſehr hohen Temperaturgraden erwärmt worden war.

Um dem Glasſtab die Eigenſchaft zu ertheilen, bei ſchwacher Reibung mit Tuch negativ elektriſch zu werden, iſt es nicht nöthig ihn unmittelbar in die Flamme zu halten, es reicht hin, wenn man ihn in einem Abſtande von etwa 3 Zoll über der Spitze der Flamme einer guten Weingeiſtlampe mit doppeltem Luftzuge hin und her bewegt.

Um die Glasſtäbe gehörig zu reinigen, wurden ſie mit Kalihydrat abgewaſchen und mit deſtillirtem Waſſer abgeſpült.

Andere Flammen brachten auf Glasſtäbe im Weſentlichen dieſelbe Wirkung hervor, wie die Weingeiſtflamme.

Eine chemiſche Wirkung der Verbrennungsproducte auf der Oberfläche des Glaſes kann nicht die Urſache der Erſcheinung ſeyn, denn Waſſerdämpfe bringen dieſe Wirkung nicht hervor, wohl aber die Flamme von brennendem Waſſerſtoffgas, wo ſich doch auch nur Waſſerdämpfe bilden.

Wenn man einen Glasſtab in concentrirte Schwefelſäure, Salzſäure oder Salpeterſäure taucht, ihn nach dem Herausnehmen mit deſtillirtem Waſſer ſo lange abſpült, bis das abfließende nicht mehr ſauer reagirt, dann das noch an demſelben haftende Waſſer abſchwenkt und den Reſt an der Luft verdunſten läßt, ſo verhält ſich der Stab gerade ſo, als ſey er durch eine Weingeiſtflamme gezogen, er wird durch Reiben negativ elektriſch.

Alkalien wirken nicht ſo wie Säuren, ſie erhalten den Glasſtab vollſtändig poſitiv.

Zwiſchen verſchiedenen Glasſtücken zeigt ſich ein großer Unterſchied in Beziehung auf die Leichtigkeit der Annahme des beſprochenen Zuſtandes.

Auf Bergkryſtall, Kalkſpath, Gyps und Schwerſpath wirkt die Flamme eben ſo ein wie auf Glas.

Andererſeits iſt es nicht gelungen, ſolche Körper, die durch Reiben negativ zu werden pflegen, durch ähnliche Mittel ſo zu verändern, daß ſie dadurch poſitive Elektricität annehmen.

In Beziehung auf das Reibzeug ſtellte ſich heraus, daß bei dieſen Verſuchen das Tuch wohl durch Leder, Siegellack, Seide, aber nicht durch *Kienmaier*'ſches Amalgam erſetzt werden könne; wird dagegen ein durch eine Weingeiſtlampe zu dem Verſuch vorbereiteter Glasſtab auf Stanniol gerieben, ſo zeigt er ſtets negative Elektricität; daſſelbe geſchieht auch noch bei Anwendung anderer Metalle; auch wenn man den präparirten Glasſtab einmal in Queckſilber eintaucht, ſo zieht man ihn mit negativer Elektricität heraus. Durch wiederholtes Eintauchen wird er poſitiv.

Wenn man ſagt, »daß der Glasſtab, wenn er in die Flamme irgend eines brennbaren Körpers gehalten oder nur in concentrirte Säure getaucht wird, auf der Oberfläche eine Veränderung erleidet, die unmittelbar durch die Sinne nicht wahrgenommen werden kann, die ſich aber durch das Elektroſcop erkennen läßt«, ſo kann man dies keineswegs eine *Erklärung*, ſondern nur einen modificirten Ausdruck für die Thatſache nennen.

5 **Ueber das elektriſche Leitungsvermögen einiger Stoffe.** *Rieß* (P. A. LXIV, 51) hat mehrere Körper in Beziehung auf ihr Leitungsvermögen und ihre Fähigkeit durch Reiben elektriſch zu werden, unterſucht.

Ein drei Linien dickes Stäbchen von *Selen* iſt im Stande, ein gelade-

nes Goldblattelektrometer faſt augenblicklich zu entladen, man kann mit Hülfe deſſelben Funken aus dem Conductor einer Elektriſirmaſchine ziehen, iſolirt angefaßt und an einer Stelle gegen Flanell gerieben, wurde es ſeiner ganzen Ausdehnung nach negativ elektriſch. In ſeinem gewöhnlichen Zuſtande iſt alſo die Oberfläche des Selens leitend.

Als an einer Stelle der Oberfläche die Subſtanz durch Schmelzung erneuert wurde, leitete ſie die Elektricität nicht ſo gut wie früher, und ein an der Flamme gezogener Selenfaden iſolirte ſo gut wie Schellack. Mit Flanell, Leder, Leinenzeug oder auch nur durch die trockenen Finger gezogen, wird ein ſolcher Faden ſtark negativ elektriſch.

Das Selen gehört alſo zu den Nichtleitern der Elektricität und wird durch Reiben elektriſch, wenn ſeine Oberfläche ganz rein iſt.

Jod iſt ein unvollkommener Leiter der Elektricität. Ein $6\frac{1}{4}$ Linien dicker, $20\frac{1}{2}$ Linien langer Stab dieſes Körpers entlud ein Elektroſcop in einer Sekunde; ohne Iſolation konnte dieſer Cylinder nicht elektriſch gemacht werden, iſolirt gegen Flanell gerieben wurde er ſchwach negativ elektriſch.

Der Retinasphalt iſt ein Iſolator, vorausgeſetzt, daß man mit Stücken von reiner glasglänzender Oberfläche zu thun hat. Lederbraune Stücke mit rauher zerriſſener Oberfläche dagegen ſind leitend, wie dies ja auch bei Bernſteinſtücken mit rauher Oberfläche der Fall iſt.

Berillium und Aluminium ſind in Pulverform, gehörig getrocknet, Nichtleiter der Elektricität.

Elektricitätserregung durch Waſſerdampf, welcher aus engen Oeffnungen ausſtrömt. Herr Armſtrong zu Newcaſtle (P. A. LII, 328. Phil. Mag. Ser. vol. XVII, pag. 370 u. 452, vol. XVIII, p 50) am Tyne wurde gegen Ende 1840 benachrichtigt, daß man zu Seghill, etwa 6 engliſche Meilen von Newcaſtle beim Ausſtrömen des Dampfes aus einem Dampfkeſſel eine ſehr ungewöhnliche elektriſche Erſcheinung beobachtet habe. Aus einer undicht gewordenen Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils ſtrömte nämlich Dampf aus; der Maſchinenwärter faßte, während er zufällig die eine Hand in den Dampfſtrahl hielt, mit der andern nach dem Hebel des Ventils, um ſeine Belaſtung zu ajuſtiren, als zwiſchen dieſem Hebel und ſeiner Hand ein Funken überſchlug und er einen ſtarken elektriſchen Schlag erhielt. 6

Armſtrong begab ſich an Ort und Stelle und fand dieſe Angaben beſtätigt; nur waren die Funken nicht mehr ſo kräftig, wie man ſie vorher beobachtet hatte, was er dem Umſtande zuſchrieb, daß Tags vor ſeiner Ankunft der Keſſel von einer dünnen Kalk-Incruſtation befreit worden war, was jedoch, wie ſich durch ſpätere Unterſuchungen herausſtellte, durchaus keinen Einfluß auf die Elektricitätserregung hat.

In weiterem Verlaufe der Unterſuchung ſtellte ſich Armſtrong auf einen Iſolirſchemel und fand, daß alsdann die Funken weit ſtärker waren. Ein Metallſtab, an deſſen einem Ende ſich eine Meſſingplatte befand, während das andere Ende mit einer Kugel verſehen war, wurde mittelſt einer iſolirenden Handhabe ſo gehalten, daß die Platte in den Dampfſtrahl kam; der ganze iſolirte Leiter zeigte ſich nun elektriſch und man konnte aus dem Knopfe Funken ziehen. Wurde der Knopf dem Keſſel bis auf $^1/_4$ Zoll genähert, ſo ſchlugen 60 bis 70 Funken in der Minute über. Die größte Entfernung zwiſchen Knopf und Keſſel, bei welcher noch ein Funke erſchien, war 1 Zoll.

Die Belaſtung des Ventils betrug 35 Pfund auf den Quadratzoll. Die Stärke der Elektricitätserregung nahm mit der Spannung des Dampfes im Keſſel zu und ab.

Die Elektricität des Dampfes und des in denſelben gehaltenen Leiters war poſitiv.

An andern Keſſeln angeſtellte Verſuche gaben ähnliche Reſultate; beſonders kräftige Funken wurden mit einer Locomotive erhalten. Armſtrong ſtand auf einem Iſolirſchemel und nahm in die eine Hand einen leichten Eiſenſtab, der in den dem Sicherheitsventil entſtrömenden Dampf gehalten wurde. Näherte er nun die andere Hand einem uniſolirten Leiter, ſo erhielt er 1 Zoll lange Funken. Die Funkenlänge nahm bis auf 2 Zoll zu, als der Stab 5 bis 6 Fuß über das Sicherheitsventil gehalten wurde.

Auch aus der unter dem Schoppen, in welchem die Locomotive ſtand, ſich anhäufenden Dampfwolke ließ ſich, wie durch Blitzableiter aus einer Gewitterwolke, Elektricität herabziehen.

Als das obere Ende des in der Hand gehaltenen Stabes mit einem Bündel ſpitzer, nach unten gerichteten Drähte verſehen wurde, konnte man am unteren mit einem Knopf verſehenen Ende 4 Zoll lange Funken erhalten.

Um die negative Elektricität nachzuweiſen, welche der poſitiven Elektricität des ausſtrömenden Dampfes entſpricht, wurde die Locomotive von den Schienen abgehoben und mit ihren Rädern auf iſolirende Unterlagen geſtellt. Jede dieſer Unterlagen beſtand aus zwei Stücken gedörrten mit Pech überzogenen Holzes, getrennt durch eine Zwiſchenlage von Pech und Packpapier. Hierauf brachte man das Waſſer im Keſſel ins Sieden. So lange der Dampf eingeſchloſſen blieb, gab der Keſſel keine Anzeige von Elektricität, ſo wie man ihn aber entweichen ließ, zeigte ſich der Keſſel ſtark negativ.

Die Funken aus dem Keſſel waren nie länger als 1 Zoll, was leicht begreiflich iſt, wenn man bedenkt, daß die Elektricität des Keſſels wegen

der vielen Ecken und Hervorragungen der Locomotive keine hohe Spannung erreichen konnte.

Die Verſuche, welche Armſtrong anſtellte, um die Quelle der an Dampfkeſſeln beobachteten Elektricität zu ermitteln, können hier füglich übergangen werden, da ſie zu keinem entſcheidenden Reſultat führten; wir gehen ſogleich zu den Unterſuchungen über, welche Faraday über dieſen Gegenſtand anſtellte.

Faraday's Unterſuchungen über Hydroelektricität. Das We- 7
ſentlichſte der Reſultate, welche Faraday's Unterſuchungen über Hydroelektricität lieferten, iſt bereits in meinem Lehrbuch der Phyſik (3e Aufl. 2r Th. S. 82) erwähnt, hier bleiben deshalb nur noch einige Details zu beſprechen.

Der von Faraday angewandte Apparat (P. A. LX, 321) war nicht darauf berechnet, Dampf in Menge oder von hohem Druck zu liefern, da es ſein Zweck war, die Urſache der Erſcheinung zu ermitteln und nicht die Erregung der Elektricität zu verſtärken. Sein Keſſel hielt 10 Gallonen (45 Liter) Waſſer und geſtattete 5 Gallonen zu verdampfen. An dieſem Keſſel war eine 4,5 Fuß lange Röhre befeſtigt, welche ungefähr $^3/_4$ Zoll Durchmeſſer hatte und an ihrem Ende eine Kugel von ungefähr 4 Zoll Durchmeſſer trug, die er die Dampfkugel nennt und an welche verſchiedene Mundſtücke angeſchraubt werden können.

Fig. 1.

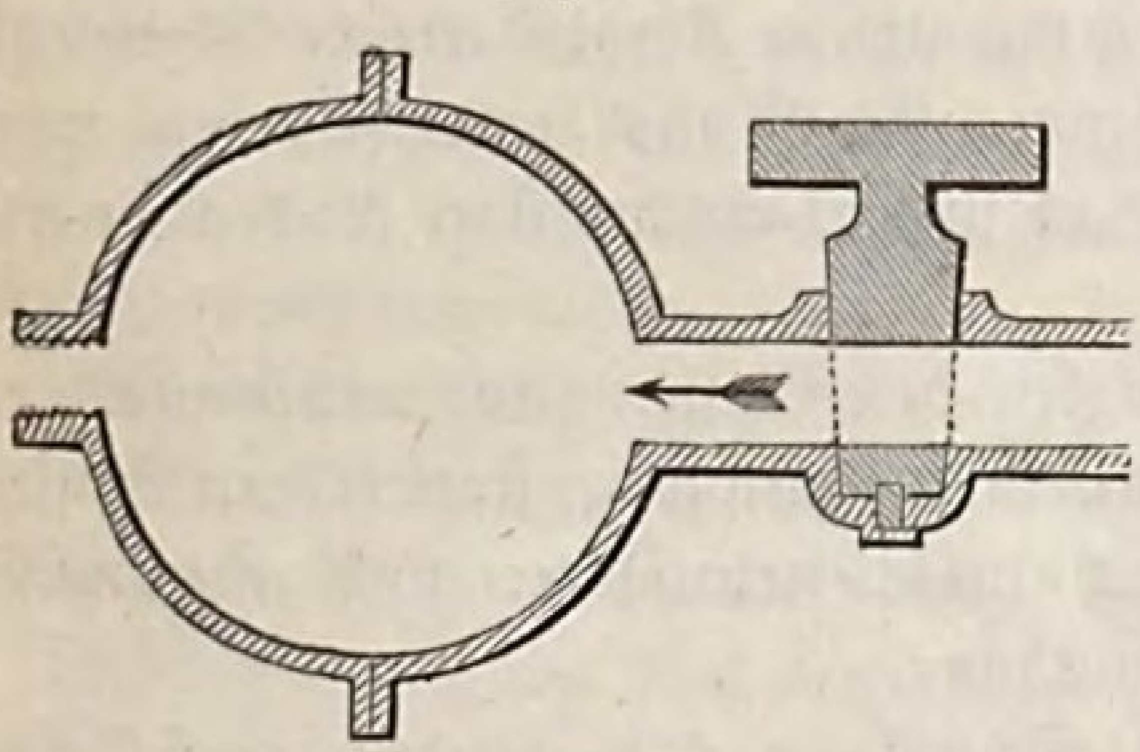
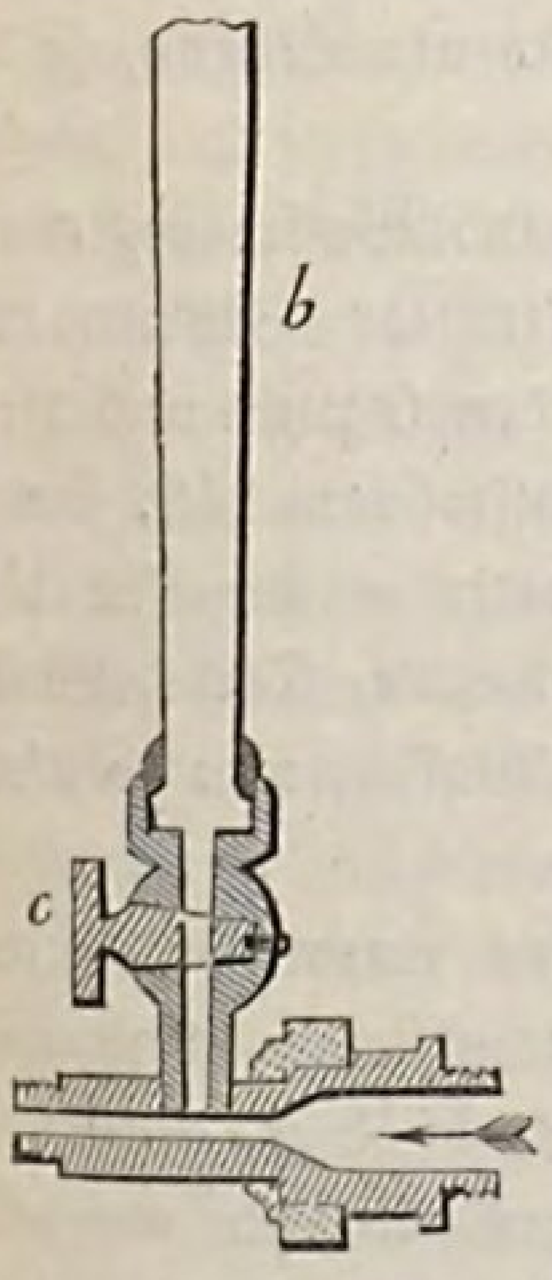


Fig. 2.



Der Keſſel war gut iſolirt. —

Als Mundſtück ſey ein in Waſſer getränktes Buchsbaumröhrchen an die Dampfkugel angeſchraubt. Wenn die Dampfkugel kein Waſſer enthält, ſo erregt nach den erſten Momenten, und ſobald der Apparat heiß iſt, der ausſtrömende Dampf keine Elektricität. Iſt aber die Kugel ſo weit mit Waſſer gefüllt, daß Waſſer durch den Dampf mit fortgetrieben wird, ſo erſcheint eine Fülle von Elektricität.

Iſt ſtatt des Buchsbaumröhrchens der Apparat Fig. 2 angeſchraubt, welcher aus einem Röhrchen beſteht, in welches von oben her durch Oeffnen eines Hahnes aus einem ſchmalen Gefäß *b* Waſſer eingelaſſen werden kann; ſo erhält man durch das

Ausſtrömen des Dampfes keine Elektricität, wenn die Dampfkugel leer von Waſſer und der Hahn *c* geſchloſſen iſt; ſobald man aber den Hahn öffnet, ſo daß Waſſer in das Ausſtrömungsrohr tröpfelt und durch den Dampf mitgeriſſen wird, ſo entwickelt ſich ſogleich Elektricität.

Daraus geht hervor, daß der Dampf allein nicht genügend iſt, um Elektricität zu entwickeln, es muß nothwendig condenſirter Dampf, alſo tropfbar flüſſiges Waſſer, ſich an die Wände des Ausflußkanals reiben, oder mit andern Worten, die Elektricität entſpringt gänzlich aus der Reibung der vom Dampfe fortgeführten Waſſertheilchen.

Läßt man durch den Apparat, Fig. 2, ſtatt reinen Waſſers ſolches Waſſer in die Ausflußröhrchen ein, in welchem nur eine geringe Menge irgend eines Salzes aufgelöſt, oder welches etwas Säure enthält, ſo hört alle Elektricitätsentwickelung auf.

Dies rührt, wie Faraday richtig bemerkt, daher, daß die Leitungsfähigkeit des Waſſers durch dieſe Subſtanzen ſo erhöht wird, daß die bei ſeiner Reibung an Metall oder einem andern Körper erregte Elektricität ſich unmittelbar wieder entladen kann. Es iſt dies gerade ſo, wie wenn wir Schellack durch Flanell zu erregen ſuchen, welcher ſtatt trocken zu ſeyn feucht iſt.

Da Ammoniak die Leitungsfähigkeit des Waſſers nur unbedeutend erhöht, ſo ſchloß Faraday, daß eine Ammoniaklöſung, ſtatt reinen Waſſers in die Ausflußröhrchen gebracht, noch eine Elektricitätserregung geben müſſe. Der Verſuch beſtätigte dieſe Vermuthung.

Metalle, Holz, Glas, Schellack, Schwefel u. ſ. w. werden durch Reiben mit dem Dampf- und Waſſerſtrom negativ, während der Strom ſelbſt mit poſitiver Elektricität entweicht. Ein Röhrchen von Elfenbein als Ausflußmündung benutzt, giebt faſt gar keine Elektricitätsentwickelung, ſo daß weder der Keſſel noch der Dampfſtrom elektriſch iſt.

Läßt man den unelectriſchen Strom von Dampf und Waſſer gegen verſchiedene Körper ſtoßen, ſo entwickelt ſich hier Elektricität. Wenn man über eine Gabel von ſteifem Draht Drähte oder Fäden ſpannt und dieſes Geflecht iſolirt in den nichtelektriſchen Dampf- und Waſſerſtrom hält, ſo wird es elektriſch, wie ſich mit einem Goldblattelektrometer nachweiſen läßt. Auf dieſe Weiſe fand Faraday, daß Leinen, Baumwolle, Seide, Wolle, Garn u. ſ. w. durch die Reibung mit dem Dampf-Waſſerſtrom ebenfalls negativ elektriſch werden.

Als Faraday einen iſolirten Draht in den aus einem Glas- oder Metallrohr kommenden, alſo poſitiv elektriſchen Dampfſtrom, und zwar ungefähr ½ Zoll von der Mündung des Rohrs hielt, blieb er, der Draht nämlich, unerregt; näher bei der Mündung des Rohrs gehalten, wurde er negativ, weiter davon entfernt hingegen poſitiv. — Es kommt dies daher,

daß der Draht, wenn er dem Rohre nahe iſt, in dem kräftigen Theile des Stroms erregt und negativ wurde, wobei der Dampf- und Waſſerſtrom poſitiver wurde als zuvor; weiter weg hingezogen, in dem ruhigen Theile des Stromes findet keine merkliche Erregung durch Reibung Statt, der Draht dient hier nur als Entlader des poſitiven Dampfſtroms, von dem er einen Theil ſeiner poſitiven Elektricität aufnimmt.

Bringt man durch den Hahn, Fig. 2, etwas Terpentinöl in die Ausflußröhre, ſo wird der Keſſel poſitiv, der ausſtrömende Dampf negativ; wenn der Hahn wieder geſchloſſen wird, ſo kehrt ſich der Zuſtand bald wieder um, weil das Oel ſehr raſch verſchwindet. Mit Olivenöl ſind die Erſcheinungen im Allgemeinen dieſelben, d. h. der Strom von Dampf und Waſſer wird negativ, der Keſſel poſitiv, doch iſt dieſer Zuſtand bleibender. Sehr wenig Olivenöl in die Ausgangsröhre gebracht, macht den Keſſel für lange Zeit poſitiv.

Nahm man eine Holzröhre zum Erregen und brachte man etwas Oel in deren inneres Ende, d. h. an das Ende, in welches der Dampf eintritt, ſo wurde der Keſſel poſitiv, der austretende Dampf negativ, brachte man aber das Oel an das äußere Ende der Röhre, ſo wurde der Keſſel negativ, der Dampfſtrom poſitiv.

Iſt an die Dampfkugel eine einfache Ausflußröhre angeſchraubt, ſo bringt Oel ſeine Wirkung auch hervor, wenn man auf das in der Dampfkugel enthaltene Waſſer etwas Oel bringt, wenn jedoch die Dampfkugel gar kein Waſſer, ſondern nur Oel enthält, ſo fand gar keine Elektricitätserregung Statt.

Speck, Wallrath, Bienenwachs, Ricinusöl, Harz gelöſt in Alkohol und Lorbeeröl wirken wie Baumöl und Terpentinöl.

Faraday iſt nun der Meinung, daß dieſe Wirkungen ſo zu erklären ſeyen, daß nicht mehr Waſſer an den Kanalwänden ſich reibt, ſondern das Oel, indem wohl jedes kleine Waſſerkügelchen mit einer ganz dünnen Oelſchicht überzogen ſey.

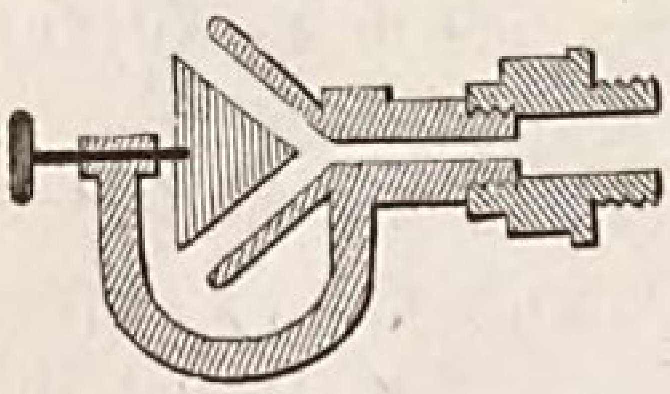
Für dieſe Anſicht führt er an, in welch dünne Schichten ſich Oel auf einer Waſſerfläche ausbreite, ferner aber, daß der Zuſatz von etwas Salz oder Säure, welcher ſonſt alle Erregung von Elektricität vernichtet, bei Gegenwart von Oel dieſe Wirkung nicht hat, d. h. wenn Oel in der Ausflußröhre iſt, ſo findet noch eine Erregung Statt, wenn das Waſſer auch etwas ſalzig oder ſauer iſt.

Ich ſehe unter dieſen Thatſachen jedoch keine einzige, welche mit der mir wenigſtens viel natürlicher ſcheinenden Anſicht in Widerſpruch ſtände, daß man nicht Oel an den Kanalwänden, ſondern Waſſer an den durch das Oel veränderten Kanalwänden reibend zu betrachten habe, eine Anſicht, die auch Faraday nicht ganz ausſchließt, indem er ſagt: »Es iſt ſehr

wahrſcheinlich, daß, wenn Holz, Glas oder ſelbſt Metall durch dieſe Oelſtröme gerieben wird, das Oel nicht bloß reibend an Holz u. ſ. w., ſondern auch an Waſſer betrachtet werden muß u. ſ. w.«

Läßt man aus einem Gefäß, in welchem ſich comprimirte Luft befindet, dieſe gegen einen Kegel von Holz oder Meſſing ſtrömen, der vor der Ausflußöffnung ſo angebracht iſt, wie man Fig. 3 ſieht (ob dieſer Kegel mit dem Gefäß, in welchem ſich die comprimirte Luft befindet, bei dieſen Verſuchen in leitender Verbindung war oder nicht, läßt ſich aus der Faraday'ſchen Darſtellung nicht entnehmen), ſo fand gar keine Elektricitätserregung Statt, ſobald die Luft gehörig getrocknet war; war aber die Luft feucht, ſo wurde der Kegel negativ. Faraday ſchreibt dieſe Elektricitätserregung den Waſſertheilchen zu, welche durch die Ausdehnung und Abkühlung der am Kegel ſich reibenden Luft verdichtet werden. Solche Theilchen werden in dem erſcheinenden Nebel ſichtbar, ſowie auch dadurch, daß ſie die Oberfläche des Holzes oder des Metalls feucht machen.

Fig. 3.



Wenn der Luftſtrom Waſſertheilchen, die er auf ſeinem Wege mitgeriſſen hatte, gegen den Kegel ſchleuderte, ſo wurde er (der Kegel) natürlich auch negativ erregt.

Wenn der Luftſtrom gepulverte Körner mit ſich führt, ſo ſind auch dieſe zur Elektricitätserregung fähig. Schwefelblumen z. B. machen Holz und Metall negativ, Kieſelerde machte beide poſitiv. Andere Körper, wie gepulvertes Harz und Gummi, gaben unſtete Reſultate.

8 **Elektricitätserregung durch Ausſtrömung flüſſiger Kohlenſäure.** Am obern Ende einer ſtarken Glasſäule brachte Jolly eine Holzfaſſung an, welche geeignet iſt, um daran den Kolben der Natterer'ſchen Condenſationsmaſchine ſo zu befeſtigen, daß die Ausſtrömungsöffnung nach unten gerichtet iſt. Sobald dieſe Oeffnung aufgeſchraubt wird, und nun die flüſſige Kohlenſäure ausſtrömt, wird der Kolben elektriſch, ſo daß man kleine Fünkchen aus ihm ziehen kann.

9 **Armſtrong's Hydroelektriſirmaſchine.** Die Beſchreibung dieſer Maſchine findet ſich ſchon in meinem Lehrbuch der Phyſik. Vor den größten und beſten Scheibenmaſchinen zeichnet ſie ſich nicht ſowohl durch eine höhere Spannung, als dadurch aus, daß ſie eine ungleich größere Quantität von Elektricität liefert. Die Funkenlänge iſt nicht größer als bei den ausgezeichnetſten Scheibenmaſchinen, alle Wirkungen aber, bei denen es darauf ankommt, in kurzer Zeit eine große Elektricitätsmenge zu liefern, ſind bei der Hydroelektriſirmaſchine viel ausgezeichneter.

Die größte Kraft entwickelt ſie, wenn die Elektricität in Form eines

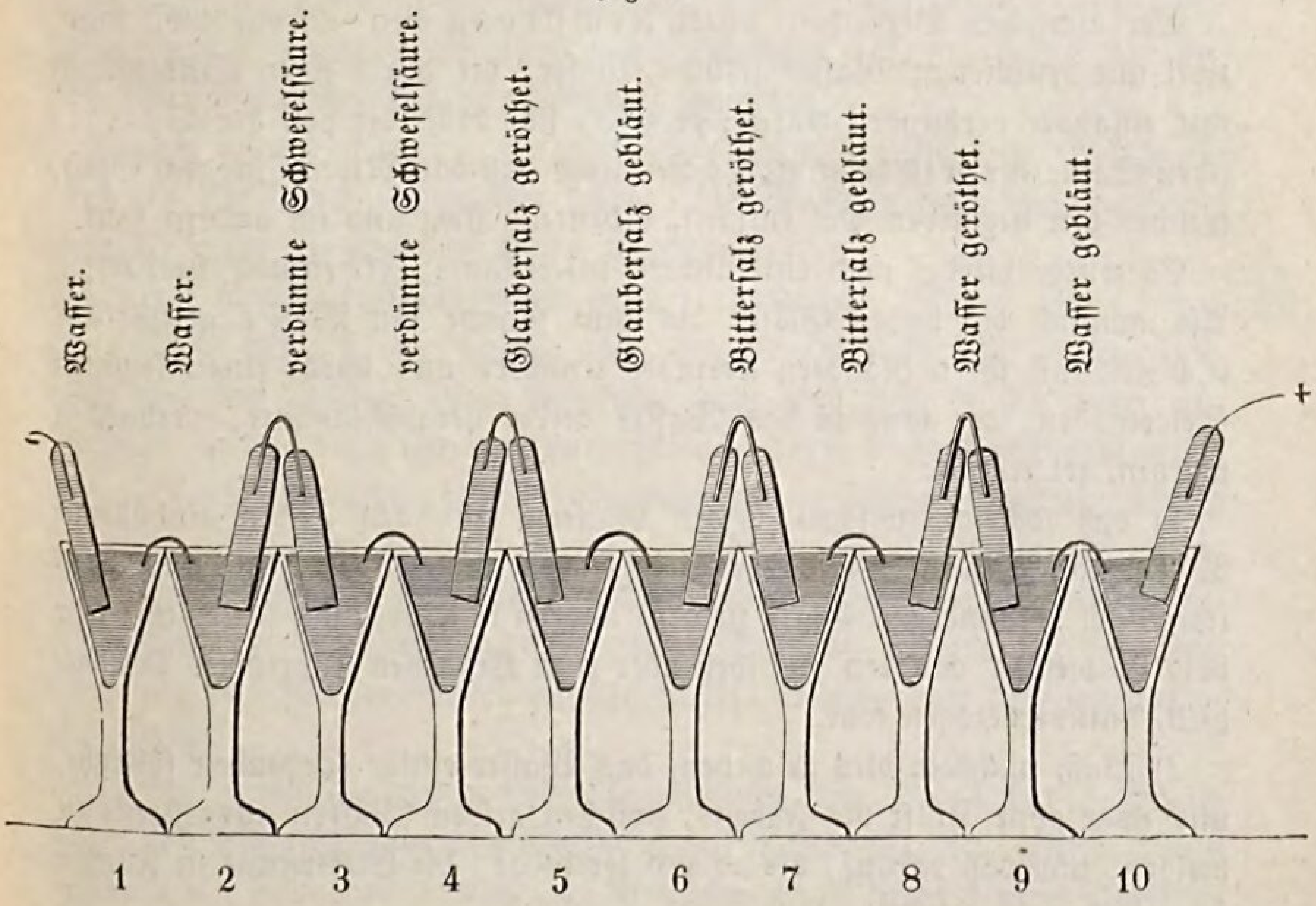
Stromes, ohne zerreißende Entladung ausgezogen wird. — So wird die wahre elektrolytiſche Waſſerzerſetzung, welche bisher niemals unzweifelhaft mit Reibungselektricität erhalten wurde, auf die klarſte und entſchiedenſte Weiſe durch die Hydroelektriſirmaſchine erhalten.

Es wurden 10 Weingläſer in eine Reihe geſtellt. Es enthielten

1 und 2 deſtillirtes Waſſer,
3 und 4 deſtillirtes Waſſer $+ \frac{1}{6}$ Volumen Schwefelſäure,
5 Glauberſalzlöſung geröthet mit geſäuertem Lakmus,
6 Glauberſalzlöſung gebläut mit Lakmus,
7 Bittterſalzlöſung geröthet mit geſäuertem Lakmus,
8 Bitterſalzlöſung gebläut mit Lakmus,
9 deſtillirtes Waſſer geröthet mit geſäuertem Lakmus,
10 deſtillirtes Waſſer gebläut mit Lakmus.

Glasröhren von $3\frac{1}{2}$ Zoll Länge, die oben geſchloſſen, mit den reſpectiven Flüſſigkeiten gefüllt und am obern Ende mit eingeſchmolzenen, theils hinein, theils herausragenden Platindrähten verſehen waren, verbanden mittelſt dieſer Drähte, wie man Fig. 4 ſieht, die Gläſer 2 und 3, 4 und 5,

Fig. 4.



6 und 7, 8 und 9, während 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6, 7 und 8, 9 und 10 durch naſſe Baumwollfäden verbunden waren, und zwei Röhren von der beſchriebenen Einrichtung die eine im Glas Nro. 1, die andere im Glaſe Nro. 10 ſich befanden. Der Draht des Röhrchens im Glaſe Nro. 1

war mit dem Keſſel, der Draht des Röhrchens im Glas Nro. 10 mit einer bleiernen Röhrenleitung in leitender Verbindung.

Sowie die Dampfelektriſirmaſchine in Thätigkeit geſetzt wurde, erſchienen Gasblaſen an allen Drähten, an den negativen genau in doppelter Volummenge, als an den poſitiven, und es zeigte ſich bei nachheriger Unterſuchung, daß das erſtere Waſſerſtoff, das letztere Sauerſtoff war. Nach 2—3 Minuten wurde das Waſſer im Glaſe Nro. 9 rings um den Draht blau, in 10 aber roth, und ähnliche Farbenveränderungen traten, wenn auch nicht ſo raſch, in den Glauberſalz- und Bitterſalzlöſungen ein.

Der Verſuch wurde fortgeſetzt, bis die Spannkraft des Dampfes von 75 Pfund auf 40 Pfund pro Quadratzoll herabgeſunken war. Dann wurde der Dampf abgeſperrt, der Keſſel verſchloſſen gehalten, bis die Spannkraft wieder auf ihren anfänglichen Werth gelangt war, und nun der Verſuch nochmals wiederholt, und zwar ſtets mit demſelben Erfolg.

Es war keine Abnahme in der Menge der entwickelten Gaſe zu ſpüren, wenn in dem Ableitungsdraht irgendwo eine kleine Unterbrechung angebracht war, ſo daß die Elektricität ſtatt in einem ſtetigen Strom überzugehen, es in kurzen Funken that.

Bei ähnlichen Verſuchen leitete Armſtrong den Strom bloß durch zwei mit deſtillirtem Waſſer gefüllte Gläſer, die durch einen Seidenfaden mit einander verbunden waren; es zeigte ſich dabei die von der Volta'ſchen Säule her wohlbekannte Erſcheinung, daß das Niveau in dem Glaſe, welches den negativen Pol enthielt, bedeutend ſtieg und im andern ſank.

Es wurde hierbei noch eine andere intereſſante Erſcheinung beobachtet. Als nämlich die beiden Gläſer bis zum Rande mit Waſſer gefüllt auf 0,4 Zoll mit ihren Rändern einander genähert und durch einen feuchten Seidenfaden, der lang in das Waſſer beider herabſchlängelte, verbunden wurden, zeigte ſich:

1) daß ſogleich zwiſchen beiden Gläſern eine den Faden einhüllende Waſſerſäule entſtand, und der Seidenfaden ſich von dem mit dem negativen Pol verbundenen Glaſe zu dem andern in Bewegung ſetzte, und ſehr bald in dieſes, das den poſitiven oder zum Erdboden führenden Pol enthielt, hinübergezogen war.

2) Daß, nachdem dies geſchehen, das Waſſer einige Sekunden fortfuhr, und zwar ohne Hülfe des Fadens, zwiſchen beiden Gläſern ausgeſtreckt zu bleiben, und daß darauf, als es ſich zertheilte, die Elektricität in Funken überging.

3) Daß, wenn der Seidenfaden mit ſeinem Ende im negativen Glaſe befeſtigt ward, das Waſſer im poſitiven Glaſe ab-, im negativen zunahm, deutlich zeigend, daß ſeine Bewegung der des Fadens bei freier Beweglichkeit entgegengeſetzt war.

4) Bei Aufſchüttung von Staubtheilchen auf die Oberfläche des Waſſers gewahrt man, daß zwiſchen den Gläſern zwei entgegengeſetzte Ströme vorhanden waren, ein innerer, vom negativen zum poſitiven Glaſe, und ein äußerer, den andern einſchließend, vom poſitiven zum negativen. Zuweilen reichte der äußere Strom nicht in das negative Glas, ſondern tröpfelte an der Außenſeite derſelben herab und dann häufte ſich das Waſſer nicht im negativen Glaſe an, ſondern verminderte ſich in beiden.

5) Nach vielen fruchtloſen Verſuchen gelang es, das Waſſer auf mehrere Minuten ohne Hülfe eines Fadens von einem Glaſe zum andern übergehend zu machen. Nach Verlauf dieſer Zeit konnte an der Waſſermenge in beiden Gläſern keine merkliche Veränderung wahrgenommen werden. Es ſchien daher, daß die beiden Ströme beinahe, wenn nicht ganz, gleich ſeyen, ſobald der innere nicht durch die Reibung am Faden verzögert wird.

Für das Gelingen dieſes Verſuchs iſt es weſentlich, daß das Waſſer vollkommen chemiſch rein ſey. Die geringſte Verunreinigung macht das Waſſer auf dem Faden ſieden, der Faden wird beinahe trocken und durch die vom elektriſchen Strome entwickelte Hitze zerſtört.

Auch andere chemiſche Wirkungen, wie Fällung von Kupfer aus ſeiner Löſung auf Silber, die Zerſetzung von Jodkalium u. ſ. w., ließen ſich mittelſt dieſer Elektriſirmaſchine vollſtändig bewirken.

Endlich gelang es auch, indem die von Dampf entwickelte Elektricität durch ein Drahtgewinde geleitet wurde, die Magnetnadel abzulenken und einen Cylinder von weichem Eiſen zu magnetiſiren.

Quelle der Luftelektricität noch unbekannt. Schon Volta und 10
Sauſſüre ſprachen die Anſicht aus, daß die Luftelektricität in der Verdampfung des Waſſers ihren Urſprung habe und ſtützten ſich dabei auf Verſuche, welche die Elektricitätsentwickelung durch Verdampfung beweiſen ſollten. Dieſe Verſuche gaben jedoch nicht immer ſichere Reſultate. Durch Pouillet's Unterſuchungen wurde die Urſache dieſer Unſicherheit ſcheinbar aufgefunden; die Elektricitätsentwickelung findet, ſeinen Verſuchen zufolge, nicht bei Verdampfung des reinen Waſſers, ſondern bei der Verdampfung von Waſſer Statt, welches Salze, Säuren oder Alkalien aufgelöſt enthält.

In der erſten Auflage meiner Bearbeitung von Pouillet's Phyſik finden ſich die entſprechenden Verſuche auf Seite 521 des erſten Theils beſchrieben. Für mich waren jene Verſuche ſchon damals nicht überzeugend, ſie ſchienen mir nicht mit der nöthigen Vorſicht und Umſicht angeſtellt zu ſeyn, um die Pouillet'ſche Anſicht außer Zweifel zu ſetzen, was mich beſtimmte, den entſprechenden Paragraphen des Lehrbuchs mit dem Wunſche zu ſchließen, es möchte eine kritiſche Wiederholung dieſer Ver-

ſuche vorgenommen werden. — In den ſpätern Auflagen meines Lehrbuchs der Phyſik habe ich den ganzen Paragraphen weggelaſſen, weil mir ſein ganzer Inhalt noch zu problematiſch und deshalb für ein Lehrbuch nicht geeignet ſchien.

Durch Armſtrong's Entdeckung und Faraday's Unterſuchung der Elektricitätserregung durch ausſtrömenden Dampf wurde nun für die Auslegung der Verſuche Pouillet's ein neuer Standpunkt gewonnen, von welchem aus Reich und Rieß dieſelben wiederholten und das wahre Sachverhältniß ermittelten.

Reich hat ſeine Verſuche in den »Abhandlungen bei der Begründung der königl. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften u. ſ. w.«, herausgegeben, Leipzig 1846, Seite 199 publicirt.

Die von Pouillet angeführten Verſuche fand er beſtätigt. Läßt man in einen reinen mit einem empfindlichen Elektroſcop verbundenen und iſolirten Platintiegel, den man vorher erhitzt, dann aber von der Wärmequelle entfernt hat, reines Waſſer eintropfen und verdampfen, ſo erhält man keine Elektricität, weder mit noch ohne Condenſator.

Tropft man eine Kochſalzlöſung in den heißen Tiegel, ſo erhält man anfänglich, ſo lange der Tropfen wegen zu großer Hitze des Tiegels kugelförmig umhertreibt, ebenfalls keine, oder nur ſehr geringe Spuren von Elektricität, ſobald aber bei hinlänglicher Abkühlung des Tiegels die Flüſſigkeit aufkocht, ladet ſich der Elektroſcop negativ und zwar bei einem großen Tiegel ziemlich ſtark.

Die Anwendung des Condenſators bringt kaum merklichen Vortheil, indem man ohne Condenſator faſt denſelben Ausſchlag erhält, wie mit demſelben.

Dies und den Umſtand, daß die Elektricitätsentwickelung ſo plötzlich mit dem Aufkochen eintritt, betrachtet Reich als eine beſondere Stütze für die Anſicht, daß hier die Elektricitätsentwickelung nicht die Folge der Verdampfung iſt, ſondern daß lediglich die Reibung der umhergeſpritzten Waſſertheilchen an den heißen Tiegelwänden die Urſache derſelben iſt.

Daß, wenn hier Reibung die Urſache der Elektricitätsentwickelung iſt, erſt dann eine ſtarke Entwickelung derſelben ſtattfinden kann, wenn die Waſſertheilchen heftig umhergeſchleudert werden, iſt klar. Beim Eintröpfeln der Flüſſigkeit zeigen ſich zuweilen Spuren von Elektricität, weil dabei einzelne Theilchen zurückſpritzen können.

Die durch Reibung der umhergeſpritzten Theilchen an den Tiegelwänden entwickelte Elektricität hat eine ziemlich bedeutende Spannung, ſo daß ſie das Goldblättchen des Elektroſcops zur Divergenz bringt, allein die Elektricitätsentwickelung iſt nicht nachhaltig und deshalb hilft der Condenſator nichts.

Daß bei Anwendung von reinem Waſſer keine Elektricitätsentwickelung ſtattfindet, iſt wohl ſo zu erklären, daß bei Salzlöſungen das tumultuariſche Kochen ſchon beginnt, während die Gefäßwände noch eine weit höhere Temperatur haben, als es der Fall iſt, wenn das reine Waſſer ins Kochen kommt. Das reine Waſſer findet, wenn ſeine Theilchen umhergeſpritzt werden, die Tiegelwände ſchon ſo weit erkaltet, daß ſie benetzt werden, während ſie bei Salzlöſungen noch ſo heiß ſind, daß ſie daran hinrollen.

In einem Platintiegel, welcher mit einem Elektroſcop gehörig verbunden war, brachte Reich Quarzſand, Porzellanſtückchen, geroſtete Eiſenfeile u. ſ. w. ins Glühen, entfernte die Lampe und beſpritzte dieſe Körper mit reinem Waſſer. Während dies im leeren Tiegel keine Spur von Elektricität gab, fand ſich unter dieſen Umſtänden ſtets eine ſehr merkliche Elektricitätsentwickelung.

Rieß ſagt in einem kleinen Aufſatz (P. A. LXIX, 286), die Abhandlung Reich's habe ihn an die Verſuche erinnert, welche er über denſelben Gegenſtand ſchon im Jahre 1844 angeſtellt habe, und unter denen er den folgenden als beſonders ſchlagend und lehrreich hervorhebt.

Ein Platinlöffel mit runder Höhlung, die 0,24 Grammen Waſſer faßte, wurde iſolirt und durch einen Draht mit dem Stift eines Behrens-Fechner'ſchen Elektroſcops verbunden. Der Platinlöffel wurde durch eine untergeſtellte Weingeiſtlampe weißglühend gemacht, die Lampe raſch entfernt, und mit einer Pipette eine beſtimmte Menge Kochſalzlöſung in den Löffel gebracht, die denſelben beinahe anfüllte. Die Flüſſigkeit rundete ſich ab, rotirte und wurde bei einem gewiſſen Grade der Abkühlung mit tumultuariſcher Verdampfung aus dem Löffel geſchleudert. Während dieſes ganzen Verlaufs zeigte ſich am Elektroſcop keine Elektricität.

Nun wurde ein Platinblech zu einem Cylinder von 17 Linien Höhe und 5 Linien Durchmeſſer aufgerollt und, nachdem derſelbe auf die Höhlung des Löffels geſtellt worden war, der vorige Verſuch wiederholt. Bei der gewaltſamen Verdampfung der Flüſſigkeit wurde ſo viel $-E$ frei, daß das Goldblättchen an dem entſprechenden Pol anſchlug.

Dieſer Verſuch, welcher ſtets mit gleichem Erfolge erhalten werden konnte, wenn die Platinflächen zuvor von dem ausgeſchiedenen Salz befreit worden waren, lehrt uns, daß in den bekannten Pouillet'ſchen Verſuchen nicht die chemiſche Trennung, welche die Verdampfung begleitet, Urſache der Elektricitätserzeugung iſt, ſondern die Reibung der feinzertheilten Flüſſigkeit gegen die Tiegelwand, unter der Bedingung, daß die Flüſſigkeit über die Wand fortrolle, ohne dieſelbe zu benetzen.

Bei allmäliger Verdampfung konnte Rieß nicht eine Spur von E nachweiſen. Ebenſo konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkt nicht die allergeringſte Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Verſuche, welche Reich anſtellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condenſation von Waſſerdämpfen zu entdecken, gaben durchaus negative Reſultate.

Rieß wiederholte auch die Verſuche Pouillet's über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetations-Prozeß. Eine iſolirte Porzellanwanne wurde mit Gartenerde gefüllt und in dieſe Gartenkreſſe geſäet. Die ſtets gehörig feucht gehaltene Erde war durch einen Meſſingdraht mit der Collectorplatte eines 6zölligen Condenſators verbunden. Die abgehobene Condenſatorplatte wurde an einem Säulenelektroſcop geprüft. — Vom März bis zum Auguſt 1844 ließ Rieß 11 mal Gartenkreſſe in der Erde keimen und unterſuchte den Condenſator täglich, bis die Kreſſe die Höhe von 2 Zoll erreicht hatte. Häufig fanden ſich Spuren von Elektricität am Condenſator, aber nicht von conſtanter Art; einige Controllverſuche mit unbeſäeter Erde machen es wahrſcheinlich, daß jene elektriſche Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Aus allen dieſen Verſuchen geht hervor, daß die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetationsprozeß die Urſachen der Luftelektricität ſeyen, durchaus nicht experimentell begründet iſt.

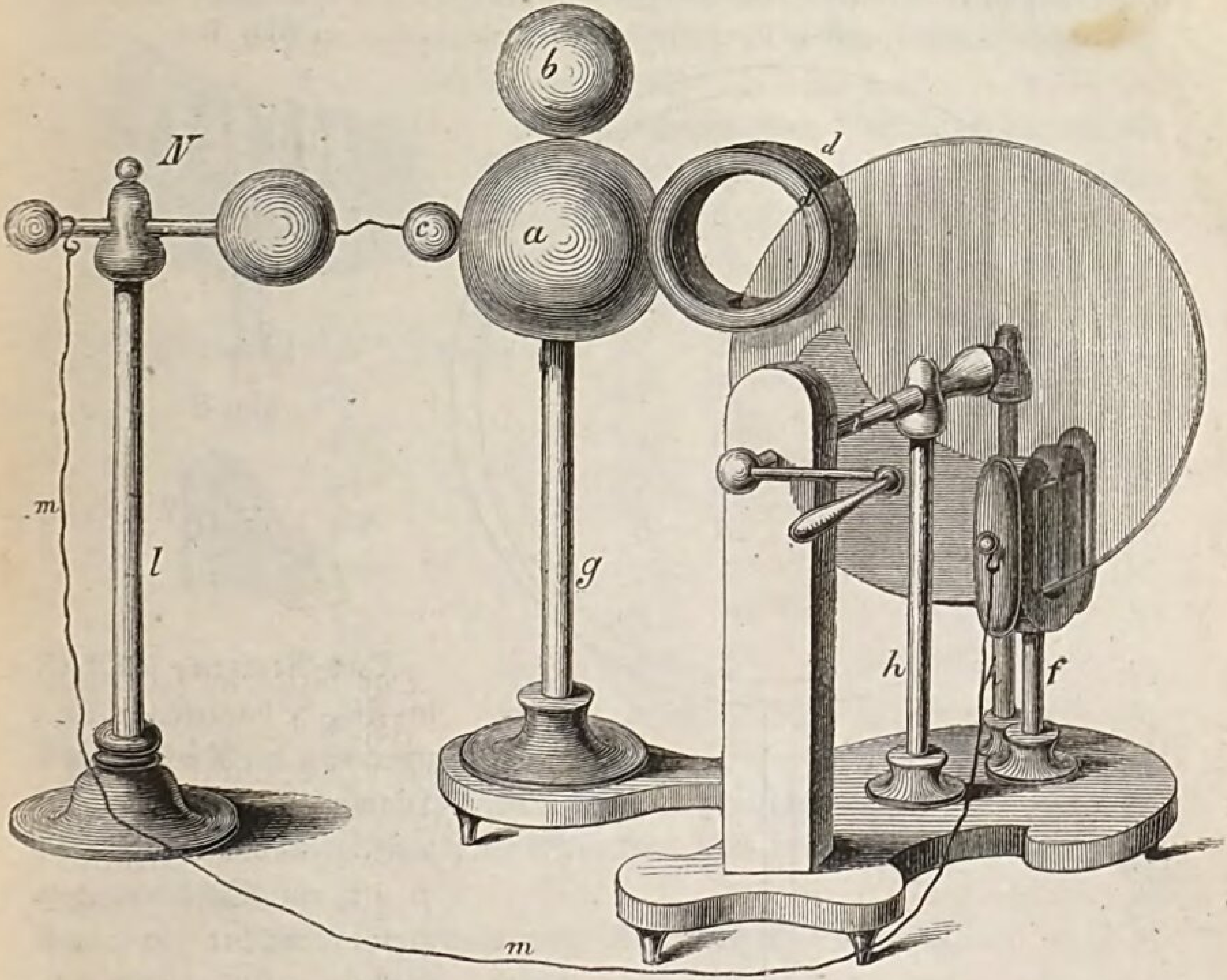
11 **Die Elektriſirmaſchine.** Die Elektriſirmaſchine gehört zu den verbreitetſten und bekannteſten phyſikaliſchen Apparaten, und dennoch wird man nur ſelten kräftige Elektriſirmaſchinen zu billigen Preiſen erhalten können; ich glaube deshalb, daß es Manchem von Intereſſe ſeyn wird, die Conſtruction der Elektriſirmaſchinen kennen zu lernen, nach welcher Herr Carl Winter (k. k. Cataſtral-Lithograph und Elektriker, Wien, Wieden-Waaggaſſe Nr. 501) Maſchinen von ausgezeichneter Wirkſamkeit und zu ſehr billigen Preiſen baut.

Fig. 5 ſtellt eine Maſchine von 15zölliger Scheibe, ungefähr in $\frac{1}{9}$ der natürlichen Größe dar, welche 7 bis 9 Zoll lange Funken giebt. Die Umdrehungsaxe i der Scheibe, ſo wie die Säulen h, i, g, f und l ſind von Glas. Die Säulen h tragen die Axe der Scheibe, f trägt das Reibzeuggeſtell, g trägt den Conductor, l den Funkenzieher.

Der Conductor a ſammt der Kugel b und c ſind von Meſſingblech. Um die Ableitung der Elektricität durch die Säule g möglichſt gering zu machen, hat der Conductor a die ſchon von Van Marum bei der großen Harlemer Maſchine mit Erfolg angewandte Form, welche man aus dem Durchſchnitt, Fig. 6 (a. S. 18), deutlicher erkennen

kann. Der Conductor trägt die beiden Holzringe d, zwiſchen denen ſich die Scheibe bewegt. Dieſe Ringe ſind von polirtem Holze und jeder iſt

Fig. 5.



auf der der Glasſcheibe zugekehrten Seite mit einem Stanniolſtreifchen verſehen, aus welchem die Saugſpitzen hervorragen, und welches bis zum Conductor a fortgeſetzt, die aufgeſaugte Elektricität dieſem zuführt.

Auf die Kugel b wird noch ein Holzſtab von ungefähr 1 Zoll Durchmeſſer und etwas über 1 Fuß Höhe aufgeſteckt, der einen Holzring von nahe 2 Fuß Durchmeſſer trägt, deſſen Querſchnitt dem des Stabes gleich iſt. Stab und Ring ſind mit Stanniol überzogen.

Der Funkenzieher N iſt durch eine Metallſchnur m, welche in Seidenband eingenäht iſt, mit dem Conductor des Reibzeuges in Verbindung geſetzt.

Um negative Elektricität zu erhalten, hat man nur die Schnur m aus dem Conductor des Reibzeugs auszuhängen, und den Conductor a mit dem Boden in leitende Verbindung zu ſetzen.

Das Geſtell, welches das Reibzeug trägt, iſt in Fig. 7 für ſich allein dargeſtellt. Auf einem Glasfuß ſteht das gabelförmige Holzſtück n,

in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeugs eingeſchnitten iſt; in der Mitte derſelben befindet ſich ein Stanniolſtreifen, welcher die Elektricität von der Feder des Reibzeugs aufnimmt und zum negativen Conductor *o* führt.

Fig. 6.

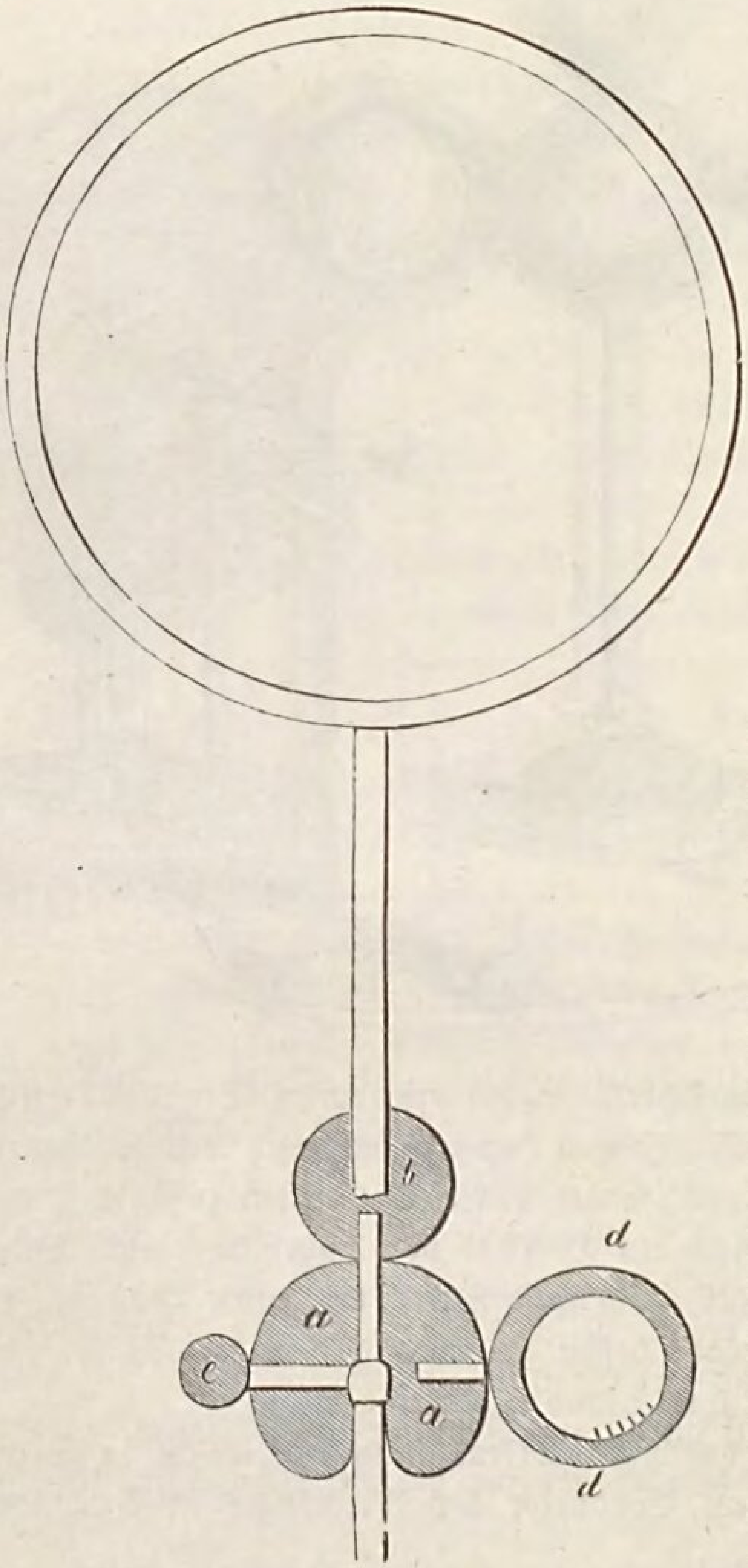


Fig. 7.

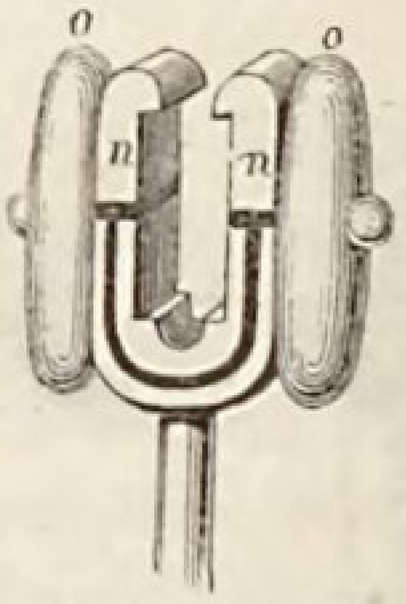
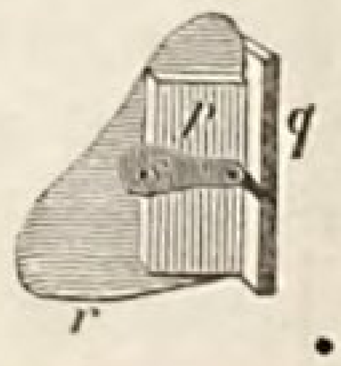


Fig. 8.



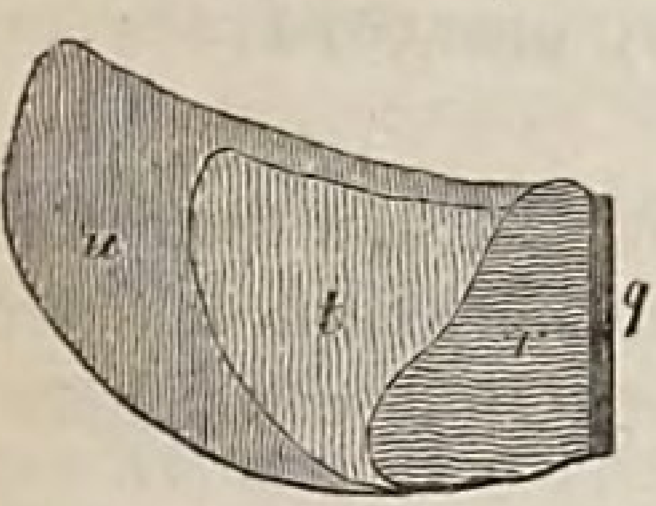
Das Reibzeug ſelbſt iſt in Fig. 8 dargeſtellt, und zwar von der Rückſeite mit Hinweglaſſung des daran befeſtigten Wachstaffents; *p* iſt ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggeſtell eingeſchoben wird; *q* iſt eine Leiſte, welche das Durchſchlüpfen des Reibzeugs verhindert. Auf dem Schieber *p* iſt das amalgamirte Leder *r* befeſtigt. Beim Einſchieben des Reibzeugs wird die Metallfeder *s*, welche mit ihrem ſchmalen Ende auf *p* aufgeſchraubt iſt, niedergedrückt. Wenn einmal das Reibzeug eingeſchoben iſt, ſo drückt dieſe Feder mit genügender Kraft und Elaſticität das Reibzeug gegen die Scheibe.

In der Mitte der Leiſte *q* ſieht man ein Stanniolſtreifchen, welches von der amalgamirten Seite des Leders zur Feder *s* führt, von welcher

dann die Electricität auf die erwähnte Weiſe zu den Conductoren *o* geleitet wird.

Fig. 9 ſtellt das Reibzeug von der amalgamirten Seite des Leders angeſehen dar, und zwar mit dem Wachstaffent. *t* iſt eine einfache, *u* eine doppelte Lage von Wachstaffent.

Fig. 9.



Bei ausgezeichneter Wirkſamkeit ſind die Winter'ſchen Maſchinen, wie man ſieht, ſehr einfach conſtruirt.

Folgendes ſind die Preiſe der Winter'ſchen Maſchinen:

Scheibendimenſion	40″	Funkenlänge	22—24″	Preis	300	fl.	Conv.	M.
»	36″	»	20—22″	»	200	»	»	»
»	30″	»	16—18″	»	160	»	»	»
»	24″	»	12—14″	»	80	»	»	»
»	18″	»	9—10″	»	60	»	»	»
»	15″	»	7— 9″	»	50	»	»	»
»	12″	»	5— 7″	»	40	»	»	»
»	10″	»	4— 5″	»	30	»	»	»
»	8″	»	3— 4″	»	20	»	»	»
»	6″	»	2— 3″	»	12	»	»	»

N. B. mit dazu gehörigem Funkenzieher.

Maſchinen nach derſelben Conſtruction, gleich wirkſam, aber weniger elegant ausgeſtattet:

Scheibendimenſion	18″	Preis	50	fl.	Conv.	M.
»	15″	»	40	»	»	»
»	12″	»	30	»	»	»
»	10″	»	20	»	»	»
»	8″	»	16	»	»	»
»	6″	»	10	»	»	»

Herr Winter hat es in der Anfertigung electriſcher Apparate wirklich zu einer großen Virtuoſität gebracht. Vielen elektriſchen Verſuchen und Spielereien hat er eine neue zweckmäßige Form zu geben gewußt.

Er hat Leidner Flaſchen von außergewöhnlicher Schlagweite conſtruirt, welche an einer anderen Stelle näher beſprochen werden ſollen.

Daß es ihm gelungen iſt, auf eine Entfernung von 15600 Fuß mit Reibungselectricität zu telegraphiren und Pulver anzuzünden, beweiſt, wie ſicher er mit ſeinen Apparaten experimentiren kann.

Ich habe mich in Wien ſelbſt von der großen Wirkſamkeit der Maſchinen überzeugt, welche Herr Winter conſtruirt. Mit der größten Bereitwilligkeit hat er mich auf meine Bitte, durch ſeine Mittheilungen in

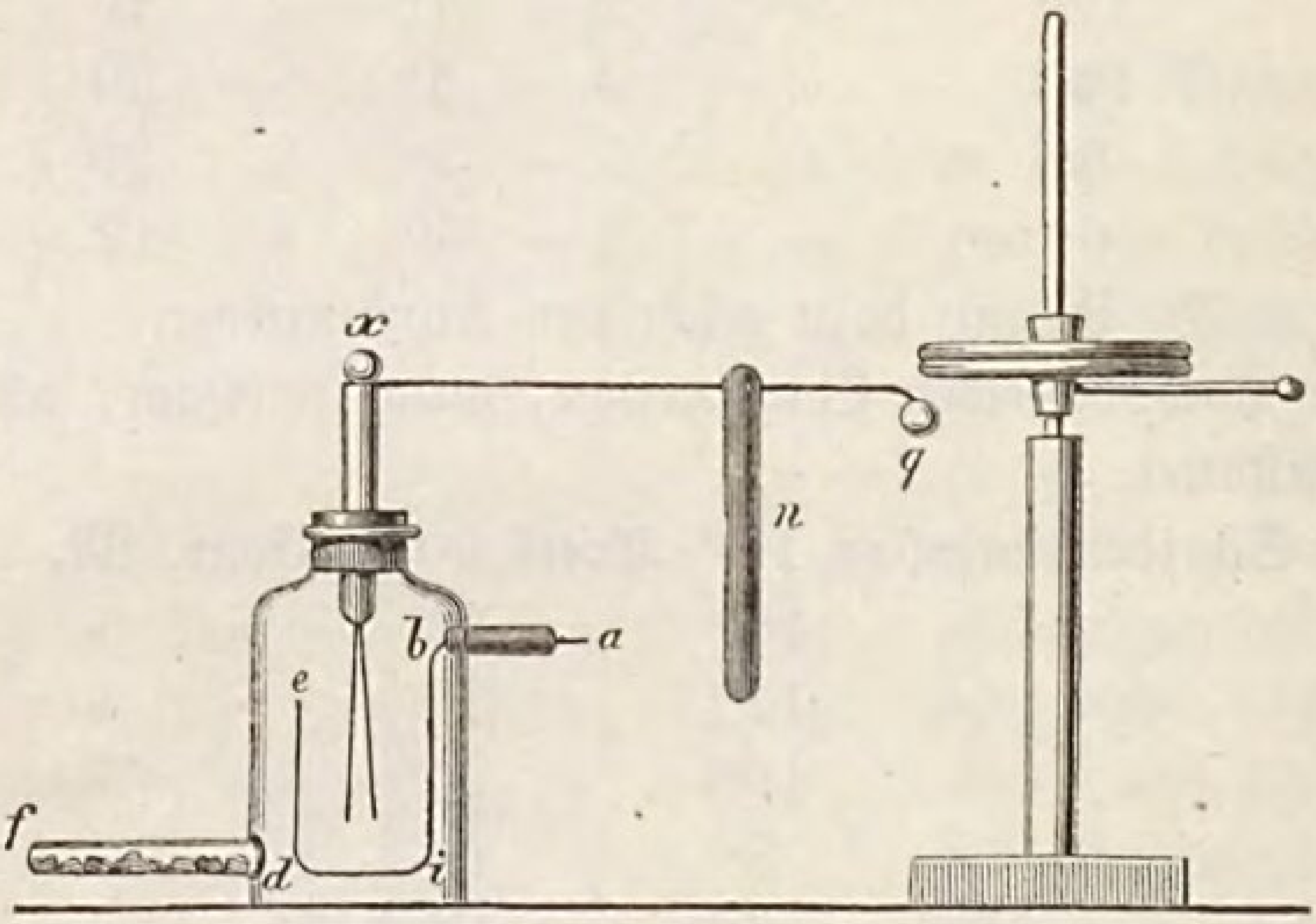
den Stand geſetzt, obige Beſchreibung ſeiner Elektriſirmaſchinen publiciren zu können.

Grüel in Berlin verfertigt Cylindermaſchinen von eigenthümlicher Conſtruction, die ſehr wirkſam ſeyn ſollen, doch iſt mir aus eigener Anſchauung über ihre Wirkſamkeit nichts bekannt, und Grüel's Preisverzeichniß giebt darüber keine Auskunft.

12 **Verbeſſerungen am Goldblattelektroſcop.** An dem Goldblattelektroſcop hat Andrieſſen eine Einrichtung angebracht, durch welche ſeine Empfindlichkeit und ſomit auch ſeine Brauchbarkeit ſehr erhöht wird (P. A. LXII. 493).

Das Glasgefäß, in welchem die Goldblättchen hängen, iſt ungefähr in der Höhe des Aufhängepunktes der Pendel durchbohrt und durch dieſe Oeffnung ein glatter Meſſingdraht *a b i d e* von $1/2$ bis $3/4$ Linien Durchmeſſer eingeſteckt und gehörig iſolirt befeſtigt, der ſo gebogen iſt, wie man es Fig. 10 ſieht. Die Ebene, welche der Draht bildet, muß mit der

Fig. 10.



Bewegungsebene der Pendel zuſammenfallen, ſo alſo, daß wenn die Pendel divergiren, das eine gegen *bi*, das andere gegen *ed* ſich bewegt.

Die horizontale Entfernung von *bi* zu *de* iſt am paſſendſten $1 1/4$ Zoll, die Länge der Goldblättchen 2″, ihre Breite möglichſt gering, etwa 1‴. Die Entfernung ihres unteren Endes vom horizontalen Drahtſtück *di* $1/2$ Zoll.

Theilt man dem Drahte Elektricität mit, z. B. die negative Elektricität eines auf Tuch geriebenen glatten Korkſcheibchens, ſo divergiren die Blättchen, weil der Draht vertheilend wirkt und die $+ E$ in die Pendel herabzieht, während die abgeſtoßene $- E$ in die Kugel x zurückgetrieben

wird. Die Divergenz der Blättchen nimmt noch etwas zu, wenn man den Knopf x ableitend berührt.

So iſt nun der Apparat vorgerichtet, um die geringſte Elektricitätsmenge noch anzeigen zu können; wird dem Knopfe x nur eine ſehr geringe Elektricitätsmenge mitgetheilt, ſo werden die Blättchen je nach der Natur der mitgetheilten Elektricität entweder noch weiter divergiren oder zuſammenfallen; ſie fallen zuſammen, wenn man dem iſolirten pendeltragenden Syſtem $- E$ mittheilt, ſie gehen weiter auseinander, wenn ihm $+ E$ mitgetheilt wird.

Der Apparat iſt empfindlich genug, um für den Volta'ſchen Fundamentalverſuch ohne Condenſator zu dienen.

Schraubt man ſtatt der Kugel x eine Zinkplatte auf, deren obere Fläche mit Bimſteinpulver friſch abgerieben worden iſt, ſetzt man auf dieſe eine ebenfalls gehörig präparirte Kupferplatte, ſo werden beim Aufheben der Kupferplatte die Pendel noch weiter auseinander gehen.

War umgekehrt die Kupferplatte aufgeſchraubt, ſo werden die Pendel beim Aufheben der Zinkplatte zuſammenfallen.

Andrieſſen macht die Bemerkung, daß ihm bei Anwendung eines Glockenelektroſcops von gewöhnlichen Dimenſionen, auch bei Anwendung des Inductionsdrahtes, die Verſuche nie ſo gut gelangen, wie mit engen Gläſern; er nimmt deshalb zu ſeinen Verſuchen gewöhnliche Gläſer mit eingeriebenem Stöpſel, 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll weit und etwa 4″ Zoll hoch. Eine Erklärung dieſer Erfahrung weiß er nicht zu geben.

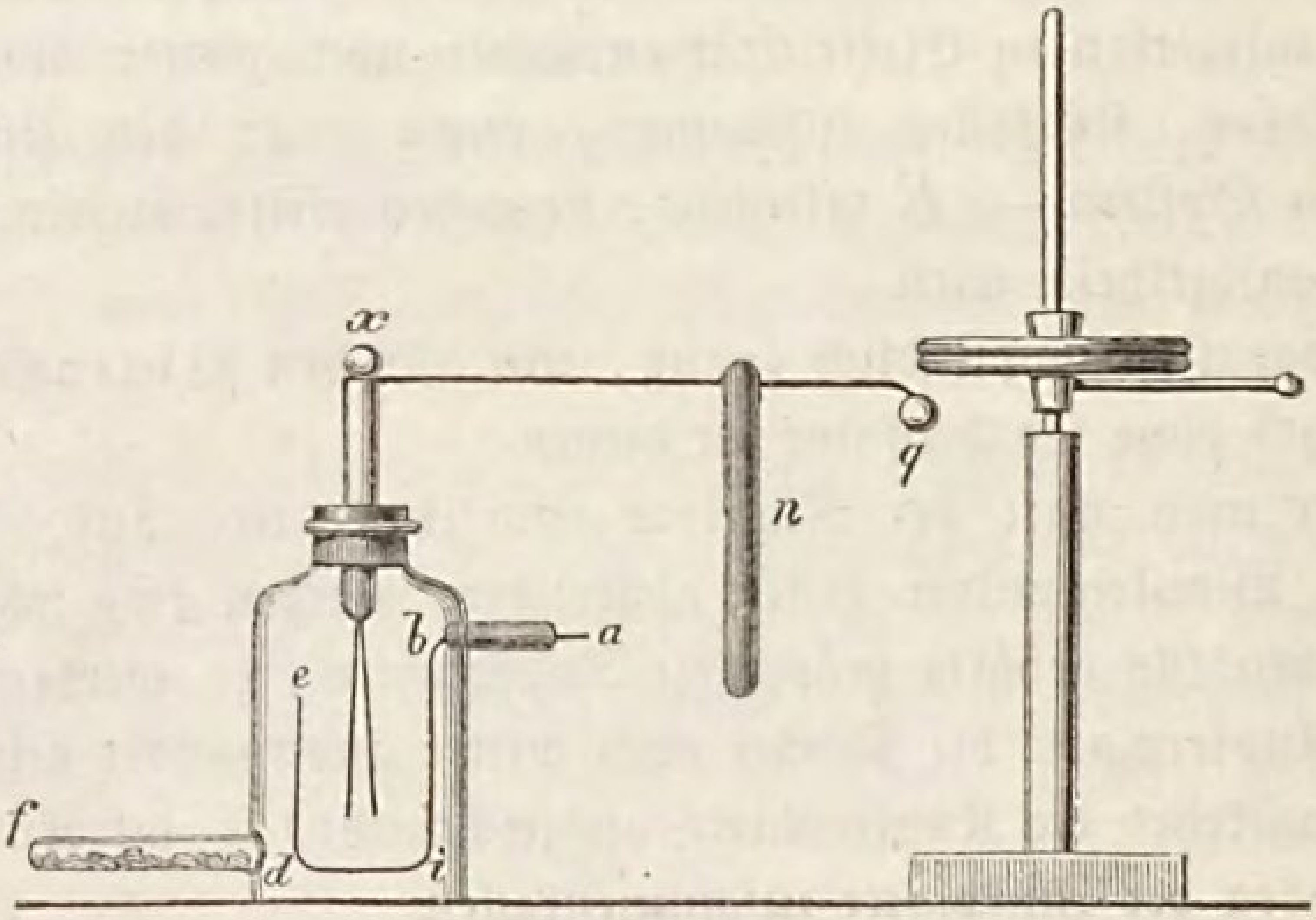
Von großer Wichtigkeit für das Gelingen der Verſuche iſt es, daß die Luft im Innern des Glasgefäßes vollkommen trocken ſey; um dies zu erreichen, hat Andrieſſen an einer paſſenden Stelle des Gefäßes ein zweites Loch eingebohrt, und an dieſes ein mit Chlorcalcium gefülltes Glasröhrchen f angekittet. — Wenn aber ſonſt überall die Oeffnungen wohl verkittet ſind, ſo mögte es wohl genügen, wenn nur ein Stückchen Chlorcalcium im Gefäß ſelbſt liegt.

Die Combination dieſes Apparats mit dem Condenſator führte zu eigenthümlichen Schwierigkeiten; iſt nämlich ſtatt der Kugel x eine Collectorplatte aufgeſchraubt und die Condenſatorplatte aufgeſetzt, ſo wird bei ableitender Berührung der Condenſatorplatte die Elektricität der Goldblättchen großentheils in die Collectorplatte heraufgezogen, ſo daß alſo die Pendel wieder weiter auseinander gehen, ſobald die Condenſatorplatte aufgehoben wird, wenn man auch der Collectorplatte nicht die mindeſte Elektricität mitgetheilt hat.

Dieſer Umſtand macht die Anwendung des Condenſators in der gewöhnlichen Weiſe durchaus unſicher. Andrieſſen vermied dieſe Schwierigkeit in folgender Weiſe.

Der Condenſator iſt nämlich nicht auf, ſondern neben dem Elektroſcop angebracht. Eine auf einem Brett befeſtigte innen und außen mit Schellack bekleidete Glasröhre trägt die Collectorplatte, wie man es Fig. 11 ſieht.

Fig. 11.



Iſt auf der Collectorplatte die Elektricität verdichtet, welche man nachweiſen will, ſo wird die Condenſatorplatte aufgehoben und dann die Collectorplatte, deren Elektricität jetzt frei iſt, mittelſt des Drahtes $x\,q$ mit dem Elektroſcop in Verbindung gebracht.

Dieſer Draht iſt ein weicher Kupferdraht, welcher unter der Kugel x um den Draht gewunden iſt, der die Pendel trägt; n iſt ein Schellackſtäbchen, welches an dem Drahte befeſtigt iſt, mittelſt deſſen man das freie Ende q des Drahtes heben kann, um es mit der Collectorplatte in Berührung zu bringen.

13 **Verbeſſerungen an der Coulomb'ſchen Drehwage.** Nach Coulomb iſt die elektriſche Torſionswage nur von Wenigen benutzt worden, und zwar mit geringem Erfolge; es entſtanden Klagen über die Unzuverläſſigkeit des Inſtruments und über die ſchwierige Handhabung deſſelben; es verbreitete ſich die Anſicht, daß es eines ganz ungewöhnlich geſchickten Experimentators bedürfe, um brauchbare Reſultate mit der Drehwage zu erhalten.

Rieß bekämpft dieſe Vorurtheile (P. A. LXXI. 359), er hat viel mit der Drehwage experimentirt und verſichert, daß, wenn man nur auf die Conſtruction des Inſtruments die nöthige Sorgfalt verwendet habe, daß alsdann ſeine Angaben nicht allein zuverläſſig ſeyen, ſondern daß auch die Anwendung deſſelben keineswegs eine beſonders ausgezeichnete Beobachtungsgabe erfordere. Das Inſtrument, welches Rieß in dem citirten Aufſatze beſchreibt, hat die Dimenſionen der kleinſten Wage, die Cou-

lomb zu ſeinen Meſſungen gebraucht hat. Der untere Glascylinder hat 1 Fuß Durchmeſſer und 1 Fuß Höhe, die Röhre, in welcher der Metallfaden herabhängt, iſt 15 Zoll lang. Die Rieß'ſche Drehwage iſt vollkommen nach dem Princip der Coulomb'ſchen conſtruirt, nur ſind noch einige Vorrichtungen angebracht, welche eine größere Genauigkeit der Beobachtung möglich machen; ſo wird die Stellung des beweglichen Armes mit dem Mikroſcop beobachtet. — Um noch die feinſten Veränderungen in der Drehung des Metallfadens bewerkſtelligen zu können, iſt am Kopf des Apparates eine Mikrometerſchraube angebracht, die ſich mittelſt eines herabgehenden Stabes drehen läßt, während man durch das Mikroſcop die Stellung des beweglichen Balkens beobachtet. Auf dieſe Weiſe iſt die genaueſte Einſtellung möglich. (Es wäre für den Mechaniker, der etwa ein ſolches Inſtrument machen ſoll, zu wünſchen geweſen, daß von dem Kopf des Apparates auch ein Durchſchnitt mitgetheilt worden wäre.)

Iſt nun bei dieſer Einrichtung möglichſte Sorgfalt auf die Conſtruction aller einzelnen Theile, namentlich aber auch darauf, daß der bewegliche Balken ſowohl wie die Träger der in den Apparat einzubringenden Prüfungsſcheibchen oder Kugeln möglichſt vollkommen iſoliren, ſo läßt ſich eine große Genauigkeit der Meſſungen wohl erwarten; da jedoch die Drehwage ein Apparat iſt, der ſich zu Vorleſungsverſuchen durchaus nicht eignet, ihr Princip aber hinlänglich bekannt iſt, hat die detaillirtere Beſchreibung des Inſtrumentes nicht für einen größeren Kreis, ſondern nur für diejenigen ein Intereſſe, die ſich ſelbſt mit Meſſungen elektriſcher Dichtigkeiten praktiſch beſchäftigen. Ich halte deshalb ein weiteres Eingehen in dieſen Gegenſtand nicht für nöthig.

In Beziehung auf Beobachtungsmethode und Berechnung der Reſultate iſt noch einiges aus der Abhandlung von Rieß anzuführen.

Um das Verhältniß zweier elektriſcher Dichtigkeiten zu a und b zu beſtimmen, die gleichzeitig an zwei Stellen eines Leiters oder auf zwei Leitern vorhanden ſind, macht Coulomb eine ganze Reihe von Meſſungen (gewöhnlich 5), abwechſelnd für die eine und für die andere Stelle und zwar in möglichſt gleichen Zwiſchenräumen. Auf dieſe Weiſe erhält er für die erſte Stelle drei Dichtigkeiten (durch Torſionswinkel bei gleicher Elongation des Wagbalkens gemeſſen) a, a' und a''; und 2 Werthe für die Dichtigkeit an der andern Stelle, nämlich b und b'. Die Meſſung von b liegt der Zeit nach in der Mitte zwiſchen a und a'; ferner liegt a' der Zeit nach in der Mitte zwiſchen b und b', es läßt ſich alſo das Mittel zwiſchen a und a' als nahezu gleichzeitig vergleichen mit b; das Mittel zwiſchen b und b' mit a' u. ſ. w. Das geſuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten iſt alſo ausgedrückt durch $\frac{\frac{1}{2}(a + a')}{b}$ oder durch $\frac{a'}{\frac{1}{2}(b + b')}$

oder durch $\frac{\frac{1}{2}(a' + a'')}{b'}$. Das Mittel aus dieſen drei Werthen wird dann für das wahre Verhältniß $\frac{a}{b}$ der beiden Dichtigkeiten genommen. Dieſe Methode erfordert große Geſchicklichkeit, denn es iſt nicht leicht, immer in gleichen Zwiſchenräumen abwechſelnd eine Meſſung der elektriſchen Dichtigkeit der einen und dann wieder der andern Stelle zu machen; ferner kann ſie keine richtigen Reſultate geben, wenn die beiden zu unterſuchenden Stellen auf zwei verſchiedenen Körpern liegen, von denen einer ſeine Elektricität raſcher verliert als der andere, denn alsdann ändert ſich das Verhältniß der beiden Dichtigkeiten von einem Moment zum andern, die drei Quotienten ſind demnach durchaus nicht drei Werthe derſelben Größe, welche nur in Folge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler verſchieden ſind, ſondern drei weſentlich verſchiedene Größen, das Mittel aus den Werthen der drei Quotienten giebt uns alſo durchaus nicht das wahre Verhältniß der beiden elektriſchen Dichtigkeiten in einem beſtimmten Moment.

Endlich iſt dieſe Methode in ſolchen Fällen gar nicht anwendbar, in welchen man dieſelbe Dichtigkeit nicht zweimal beſtimmen kann, wo das Auftreten der Dichtigkeit b es erfordert, daß die Dichtigkeit a nicht mehr vorhanden ſey und ein Zurückgehen auf a nicht mehr möglich iſt.

Rieß bringt nun folgende Beobachtungsmethode mit Erfolg in Anwendung. Mit zwei Prüfungskugeln, welche vollkommen gleich ſind, und deren Stiele gleich gut iſoliren, werden die beiden elektriſchen Stellen gleichzeitig oder doch ſo raſch nach einander berührt, daß man die Berührung als gleichzeitig betrachten kann. Die eine Prüfungskugel wird nun in eine weite Glasglocke, die andere in die Torſionswage gebracht. — Nachdem die Meſſung der Torſion für die erſte eingebrachte Prüfungskugel vollendet iſt, wird nun dieſe entfernt und die zweite, einſtweilen in der Glasglocke aufbewahrte Prüfungskugel in die Drehwage gebracht, die entſprechende Torſion (bei gleicher Elongation) gemeſſen. Die Momente der beiden Einſtellungen werden an einer Sekundenuhr bemerkt. Nun wird die Torſion um einige Grade vermindert, wodurch natürlich die Elongation etwas wächſt, und beobachtet, wie lange es dauert, bis der Wagbalken wieder an ſeiner frühern Stelle einſteht.

Ein Beiſpiel mag dieſe Beobachtungsweiſe erläutern. Man habe mit den beiden Prüfungskugeln I und II die Stellen berührt, deren elektriſche Dichtigkeit man vergleichen will.

I in die Torſionswage gebracht, erfordert eine Torſion von $55{,}5^0$, damit der Wagbalken eine beſtimmte Stellung einnimmt, alſo um eine beſtimmte Gradzahl abgelenkt iſt.

Nun wird II in die Drehwage gebracht. Damit der Wagbalken genau

dieſelbe Ablenkung erhalte, alſo genau wieder an derſelben Stelle ſtehe, wie vorher, muß man nun dem Faden eine Torſion von 293,5° geben.

Zwiſchen der erſten und zweiten Einſtellung iſt eine Zeit von 3,1 Minuten verfloſſen.

Nun wird die Torſion um 20°, alſo auf 273,5° vermindert, und es dauert, von der zweiten Einſtellung an gerechnet, 3,2 Minuten, bis der Wagbalken wieder an ſeiner alten Stelle ankommt.

Gehn wir nun zur Berechnung dieſer Reſultate über. — In 3,2 Minuten hat die Prüfungskugel Nro. II eine Elektricitätsmenge verloren, welche durch eine Torſion von 20° gemeſſen wird; wäre nun der elektriſche Verluſt nur der Zeit proportional, ſo würde der Elektricitätsverluſt der Kugel II zwiſchen der erſten und zweiten Einſtellung $\frac{3,1}{3,2} . 20 = 19,4^0$ betragen, der elektriſche Verluſt iſt aber nicht allein der Zeit, ſondern auch der elektriſchen Dichtigkeit proportional, die in den beiden Zeitabſchnitten nicht gleich iſt. Ohne merklichen Fehler kann man annehmen, daß ſich die elektriſche Dichtigkeit auf der Kugel II in dem erſten Zeitabſchnitte zu der im zweiten verhält wie 293,5 zu 273,5; demnach wäre alſo der elektriſche Verluſt der Kugel II in dem erſten Zeitabſchnitte (d. h. zwiſchen der erſten und zweiten Beobachtung) $19,4 . \frac{293,5}{273,5} = 20,8^0$. In dem Augenblicke, in welchem die elektriſche Ladung der Prüfungskugel I in der Torſionswage gemeſſen wurde, war alſo die elektriſche Ladung der Prüfungskugel II gleich $293,5 + 20,8 = 314,3^0$. Das geſuchte Verhältniß der beiden Elektricitätsmengen iſt alſo $\frac{55,5}{314,3} = 0,179$.

Bezeichnen wir mit a die erſte gemeſſene Torſion, mit b die zweite, mit c die Anzahl Grade, um welche man nach der zweiten Meſſung die Torſion vermindert hat; ferner mit t und t' die beiden Zeitintervallen, ſo iſt die Dichtigkeit der Elektricität auf der Kugel II in dem Moment, in welchem die Torſion a gemeſſen wurde, gleich

$$b + c . \frac{t . b}{t' (b - c)} \quad \ldots . (1)$$

Es ſey z. B. $a = 67^0$

$b = 369^0$

$c = 20^0$

$t = 3,7'$

$t' = 2,5'$

ſo iſt alſo in dem Moment, in welchem die Dichtigkeit a gemeſſen wird, die elektriſche Dichtigkeit auf der andern Prüfungskugel

$$369 + 20 \cdot \frac{3,7}{2,5} \cdot \frac{369}{349} = 369 + 31,3^0 = 400,3$$

und das geſuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten

$$\frac{67}{400,3} = 0,167.$$

Rieß berechnet die Reſultate dieſer Beobachtungsmethode »mit gepaarten Prüfungskörpern« nicht nach der Formel (1), welche allerdings nur eine Näherungsformel iſt, ſondern nach einer andern Näherungsformel, deren Ableitung aber keineswegs elementar und überſichtlich genannt werden kann. Die Reſultate der Rechnung nach Formel (1) ſtimmen jedoch ſo ſehr mit den Rieß'ſchen Rechnungsreſultaten überein, daß die Anwendung der Formel (1) wohl keinen Anſtand haben wird.

Für das erſte der obigen beiden Beiſpiele z. B. ſtimmen die Rechnungsreſultate nach beiden Formeln vollkommen überein, bei dem zweiten Beiſpiele ergiebt ſich nach Rieß der Werth $400,8^0$, wo wir $400,3^0$ gefunden hatten, was auf den geſuchten Quotienten gar keinen Einfluß hat.

14 **Elektroſcope, in welchen das Princip der Drehwage in Anwendung gebracht iſt.** Im LIIIten Bande von Poggendorf's Annalen findet ſich die Beſchreibung von zwei Eletkrometern oder vielmehr Elektroſcopen, welche man gewiſſermaßen als kleine Drehwagen betrachten kann; das erſtere von Dellmann (Seite 606), das letztere von Oerſted (Seite 612).

Fig. 12.

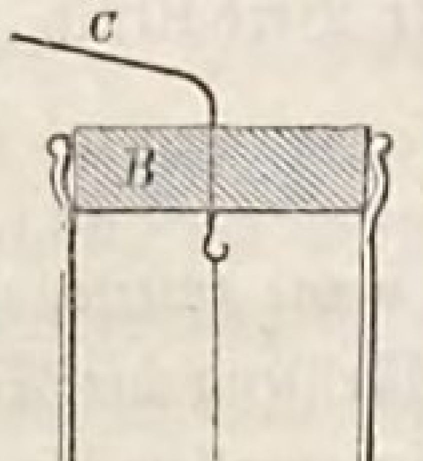


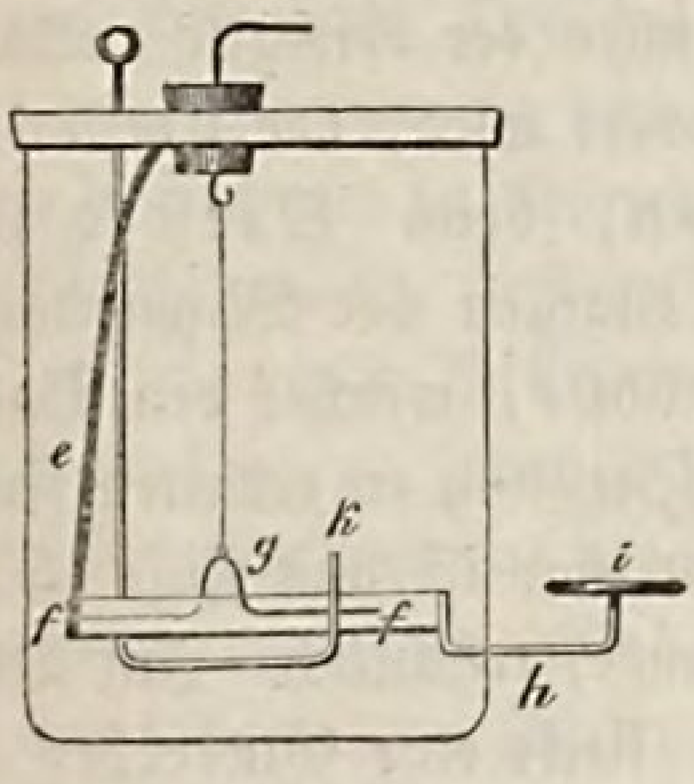
Fig. 12 ſtellt das Dellmann'ſche Inſtrument dar. Die Oeffnung eines weißen Einmachglaſes von 8 bis 10 Zoll Höhe iſt oben mit einem Korkſtück *B* verſchloſſen. Durch dieſes Korkſtück iſt ein ziemlich ſteifer Draht *C* geſteckt, welcher unten in ein Häkchen endet, in dem ein Coconfaden hängt. Der Coconfaden trägt ein Schellackſtäbchen *D*, an deſſen einem Ende ein kleines Hollundermarkkügelchen α befeſtigt iſt (durch Drücken mit reinen Fingern kann man ihm leicht alle Ecken nehmen).

Bei α iſt das Glas durchbohrt und in das Loch eine Stecknadel $\beta\gamma$ mit Schellack befeſtigt, und zwar mit dem Knopfe γ nach außen; inwendig ſteckt auf der Spitze der Nadel das Hollundermarkkügelchen β, ſo daß aber die Spitze nicht aus dem Kügelchen hervorragt. Man ſchiebt nun ſo lange an dem Drahte *C* auf und ab, bis α und β ſich in gleicher Höhe befinden; darauf dreht man dann den Draht *C* um ſeine Axe ein oder ein Paar Mal um, ſo daß das Kügelchen α ſich vermöge der Elaſticität des Conconfadens dicht an das Kügelchen β anlegt.

Dellmann hat ſpäter die Conſtruction ſeines Inſtrumentes noch ver-

ändert und es dadurch noch weit empfindlicher gemacht. Fig. 13 ſtellt das Dellmann'ſche Elektroſcop in ſeiner neueren Geſtalt dar (P. A. LVIII. 49). Der drehbare Hebel *g* beſteht aus einem leichten Metalldrahte, welcher in der Mitte ſo gebogen iſt, daß ſich die eine Hälfte des Wagbalkens auf die rechte, die andere Hälfte auf der linken Seite des Metallſtreifchens *f* anlegen kann. Dieſes Streifchen *f*, durch die Mitte des Apparates ausgeſpannt, iſt einerſeits an dem Zuleitungsdrahte *h*, andrerſeits an dem Drahte *e* befeſtigt.

Fig. 13.



Theilt man den Zuleitungsdraht (auf den man eine Platte, etwa eine Condenſatorplatte, aufſchrauben kann) Elektricität mit, ſo wird dieſe zum Theil auf den durch die Torſion des Fadens an dem Streifchen *f* angelegten Wagbalken *g* übergehn und dieſer alſo abgeſtoßen werden. —

Der eine vertikale Arm des Drahtes *k*, deſſen horizontales Stück einen Winkel von nahezu 90° mit der Richtung des Streifchens *f* macht, befindet ſich auf der rechten, der andere vertikale Arm auf der linken Seite des beweglichen Hebels. Dellmann nennt dieſen Draht, dem man von oben her Elektricität mittheilen kann, und deſſen Function dieſelbe iſt, wie die des Drahtes im Elektrometer von Andrieſſen, den Querdraht. Wird dem Querdraht Elektricität mitgetheilt, ſo dreht ſich alsbald der bewegliche Hebel *g* und bleibt in einer neuen Gleichgewichtslage ſtehen. Er bewegt ſich aber nach der einen oder nach der andern Seite, je nachdem man den Zuleitungsdraht *h* Elektricität der einen oder andern Art mittheilt. Es iſt begreiflich, daß der Apparat in dieſer Geſtalt außerordentlich empfindlich ſeyn muß; jedoch iſt es ſehr läſtig, daß der am Coconfaden hängende Wagbalken durch das geringſte Anſtoßen ſchon in Schwankungen geräth.

Der angeführte Aufſatz in Poggendorff's Annalen, in welchem Dellmann die neuere Form ſeines Elektroſcops beſpricht, iſt etwas confus geſchrieben. Eine eigentliche Beſchreibung des Apparates, eine Angabe, wie er anzuwenden iſt, findet ſich nicht; es wird von den zweckmäßigſten Dimenſionen des Streifchens, von der beſten Stellung des Querdrahts geſprochen, ohne daß Querdraht und Streifchen vorher irgendwie eingeführt worden wären. Offenbar ſetzt Dellmann hier ſchon vieles als bekannt voraus, was es wenigſtens für die Mehrzahl der Leſer nicht iſt. —

Die Art und Weiſe, wie das Streifchen *f* hier befeſtigt wird, iſt offenbar etwas ungeſchickt. Romershauſen hat dieß ſehr zweckmäßig abgeändert. Der Wagebalken aus unächtem Goldlahn bleibt gerade, dagegen iſt der Metallſtreifen *f* in der Mitte mit einem Bogen verſehen, wie man

Fig. 14.

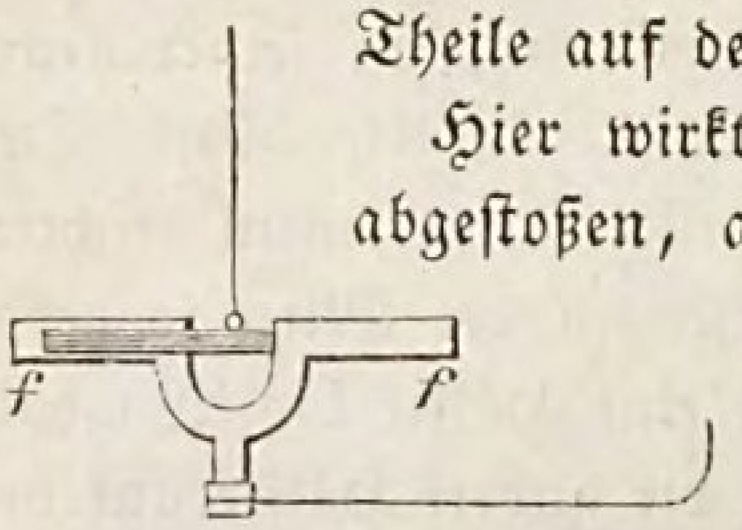
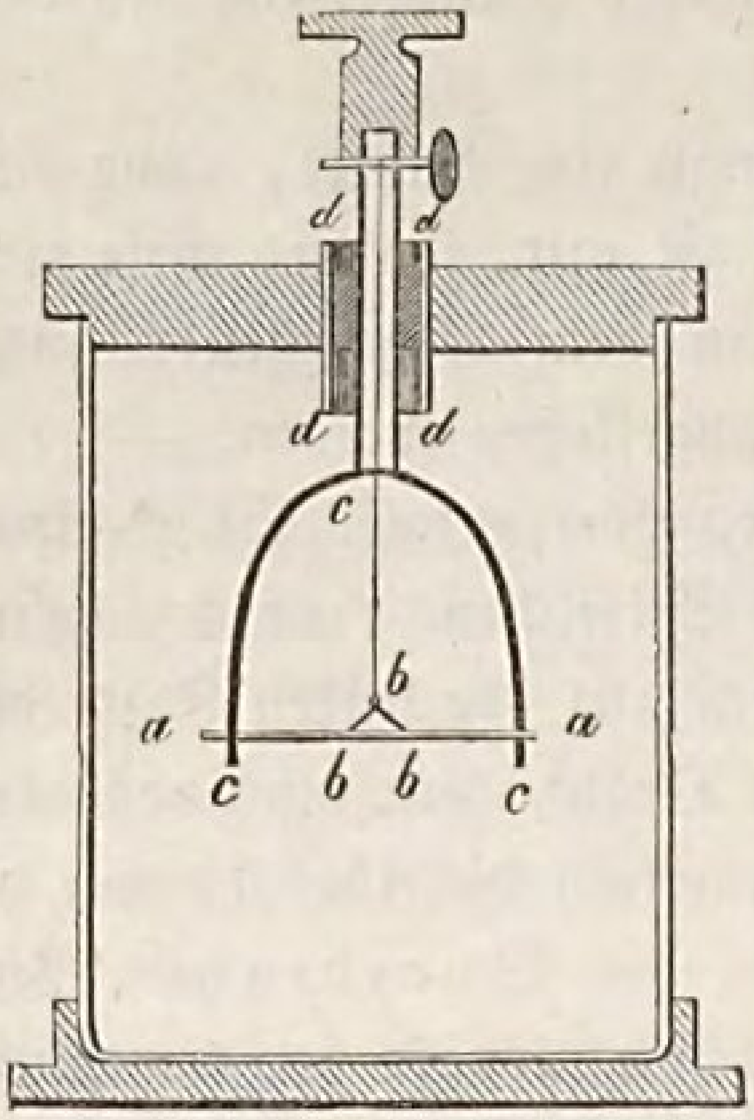


Fig. 14 ſieht. Der Metallſtreifen iſt mit ſeinem mittleren Theile auf dem Zuleitungsdrahte befeſtigt.

Hier wirkt die Kraft, mit welcher der bewegliche Balken abgeſtoßen, alſo um ſeine Axe gedreht wird, der Torſion des Coconfadens entgegen; beim Oerſted'ſchen Elektrometer iſt es dagegen der Magnetismus eines kleinen Eiſendrahtes, welcher den Balken in einer beſtimmten Stellung zu erhalten ſtrebt.

Das Weſentliche der Oerſted'ſchen Conſtruction iſt aus Fig. 15 ($1/2$ der natürlichen Größe) erſichtlich.

Fig. 15.



Im Deckel eines Glasgefäßes ſteckt eine Glasröhre *dd*, in welcher durch Schellack gehörig iſolirt eine Metallröhre befeſtigt iſt, die unten in zwei gebogene Arme *cc* ausläuft. In der Mitte dieſes Röhrchens hängt der Coconfaden herab, welcher den beweglichen Stab *aa* trägt, der aus einem dünnen Meſſingdrahte beſteht. *bb* iſt ein Bügel von ſehr dünnem Eiſendraht, der einen ſehr ſchwachen Magnetismus haben muß, durch welchen der Balken ſo gegen die Meſſingarme *cc* angelegt wird, daß das eine Ende von *cc* die linke, das andere Ende die rechte Seite des Stäbchens *aa* berührt. Indem der Metallbogen *cc* von oben her Elektricität empfängt, geht dieſe zugleich auf den Wagbalken *aa* über, und erzeugt eine Drehung deſſelben. Wenn die magnetiſche Richtkraft des Eiſenbügels ſehr gering iſt, ſo zeigt das Elektrometer ſehr große Empfindlichkeit. Um ſchwache elektriſche Wirkungen zu entdecken, theilt man dem Inſtrumente zuerſt etwas Elektricität mit, durch welche der Balken um einige Grade gedreht wird. Ein Körper, welcher dieſelbe Art von Elektricität beſitzt, bringt dann, wenn er genähert wird, eine bedeutende Vergrößerung der Abweichung hervor. Die Elektricität, welche iſolirte Zink- und Kupferplatten nach der Berührung und Aufhebung zeigen, wird auf dieſe Weiſe ohne Hülfe des Condenſators ſehr wahrnehmbar. — Auch mit dem Dellmann'ſchen Inſtrumente läßt ſich der Volta'ſche Fundamentalverſuch ohne Condenſator anſtellen.

Oerſted hat an ſeinem Inſtrumente noch eine Theilung angebracht, um den Ablenkungswinkel zu meſſen, ein Mikroſcop, um die Stellung des Balkens beſſer zu beobachten u. ſ. w. Ich habe dies weggelaſſen, weil es hier nur darauf ankommt, das Princip des Inſtruments verſtändlich zu machen. Oerſted ſelbſt hat das Inſtrument nur als Elektroſcop angewendet.

Kohlrauſch hat das Dellmann'ſche Elektroſcop in ein Elektrometer verwandelt. (P. A. LXXII. 353). Er brachte unter dem drehbaren Hebel einen Theilkreis an, um die Ablenkungswinkel ableſen und einen zweiten oben an dem Aufhängring des Fadens, um die Torſion deſſelben beſtimmen zu können. Statt des Coconfadens wandte er einen feinen Glasfaden an, weil deſſen Torſionskraft zuverläſſiger iſt.

Dellmann's Inſtrument hatte den großen Vorzug, mit wenig Mitteln herſtellbar zu ſeyn, ſo daß jeder, der nur einige Geſchicklichkeit hat, ſich ein ſolches Inſtrument machen kann. Dieſen Vorzug des Dellmann'ſchen Elektroſcops hat Kohlrauſch ganz und gar aufgegeben, denn das von ihm angegebene Inſtrument kann nur durch die Hand eines geſchickten Mechanikers hergeſtellt werden. Dagegen iſt nun freilich nichts einzuwenden, wenn der Apparat in dieſer Form Vortheile gewährt, welche ſich auf einfachere Weiſe nicht erreichen laſſen. — Nach Kohlrauſch's Angaben ſoll ſein Elektrometer zu genauen Meſſungen noch in Fällen dienen, für welche die Coulomb'ſche Drehwage ſchon zu unempfindlich iſt. Ein beſtimmtes Urtheil über den Werth des Elektrometers von Kohlrauſch kann ich ſchon deshalb nicht abgeben, weil ich mit demſelben nicht experimentirt habe, ich kann nicht behaupten, ob die Leiſtungen deſſelben mit dem Aufwande im Verhältniß ſtehen, welcher auf ſeine Herſtellung verwendet werden muß. Mir ſcheint das Inſtrument allerdings etwas zu complicirt. Ob dieſe Anſicht gegründet iſt, muß ich dem Urtheile derjenigen überlaſſen, die mit dieſem Apparate praktiſch gearbeitet haben. Die Reſultate, welche Kohlrauſch in ſeiner Abhandlung anführt, ſprechen allerdings ſehr zu Gunſten ſeines Inſtrumentes.

Bei allen elektroſtatiſchen Meſſungen iſt wohl gewiß die bedeutendſte Fehlerquelle ein allmäliger Verluſt an elektriſcher Ladung in der vertheilenden Wirkung, welche der geladene Körper auf benachbarte ausübt u. ſ. w., zu ſuchen. Die Unſicherheiten, welche aus dieſen Quellen entſpringen, ſind gewiß weit größer, als die Beobachtungsfehler, welche man beim Einſtellen und Ableſen begeht. Von dieſem Geſichtspunkte erſcheint es überflüſſig, an Elektrometern aller Art einen großen Aufwand auf Theilungen, Mikroſcope u. ſ. w. zu verwenden.

In der erwähnten Abhandlung ſpricht Kohlrauſch den ſehr guten Gedanken aus, die elektroſcopiſche Kraft der Volta'ſchen Säule zu einem brauchbaren Maaße für Reibungselektricität, oder vielmehr zur Vergleichung verſchiedener Elektrometer zu benutzen.

Eine Säule von einer beſtimmten Anzahl von Elementen, welche aus zuſammengelötheten Streifen von Zink und Kupfer beſteht, die in Gläschen mit deſtillirtem Waſſer eintauchen, wird, wenn der eine Pol vollkommen abgeleitet iſt, am andern ſtets dieſelbe Spannung beſitzen, alſo ſehr

wohl zur Vergleichung verſchiedener Elektrometer dienen können. Bei längerer (über eine Woche dauernder) Eintauchung nimmt die Spannung allerdings ab, weil ſich das Zink mit Oxydul überzieht, man erhält aber die urſprüngliche Spannung wieder, wenn man nur mit einem Feilſtrich das Metall wieder bloslegt.

Kohlrauſch erhielt von dem Pole einer ſolchen Säule an ſeinem Inſtrumente während einer ganzen Woche ſtets den Ausſchlag von 52 bis 53 Graden; nach 4 Wochen war der Ausſchlag auf 46° gefallen, erreichte aber alsbald die urſprüngliche Größe, als das Metall wieder durch Feilſtriche gereinigt wurde.

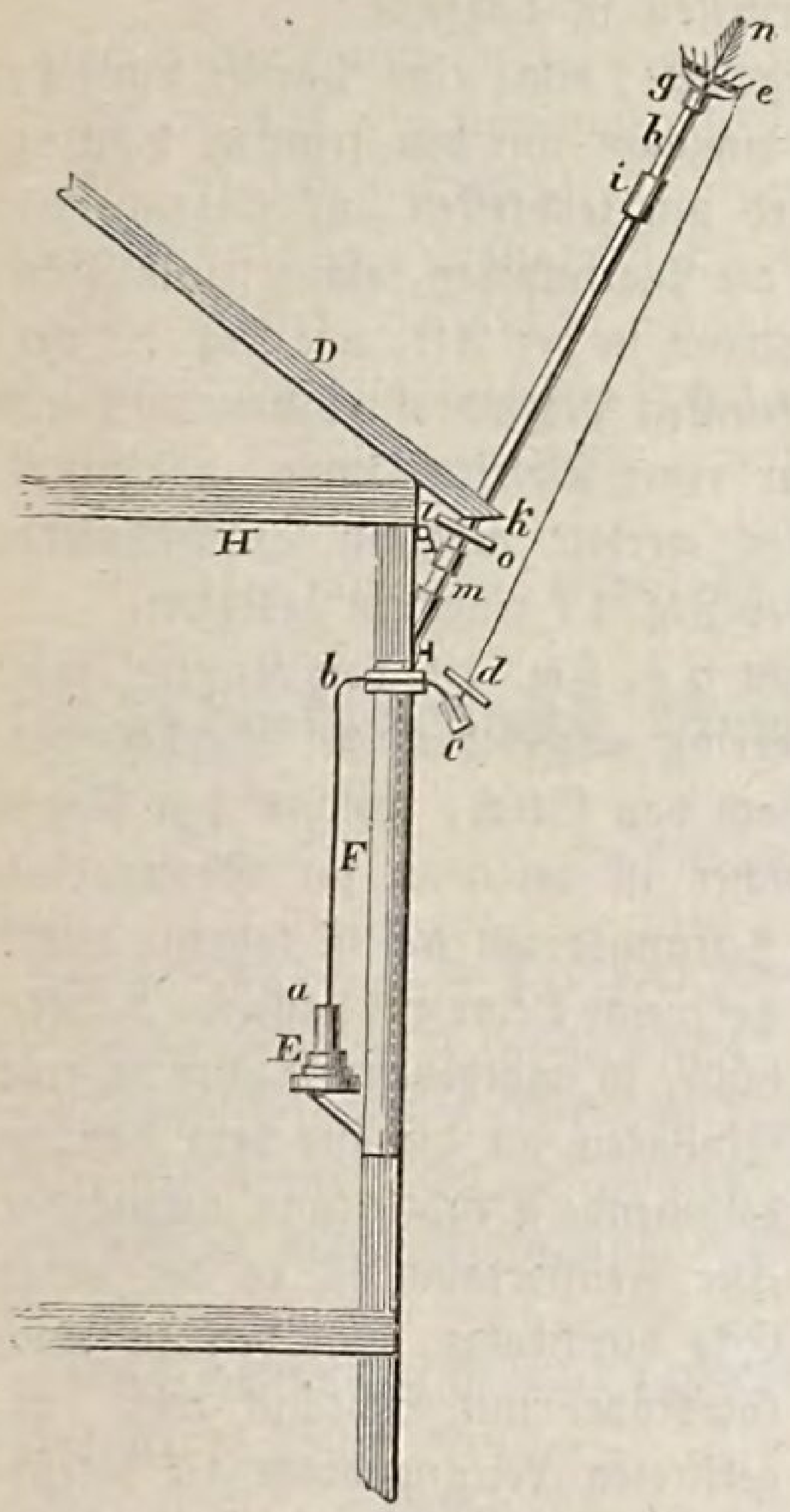
15 **Petrina's Elektroſcop.** Petrina hat ein Elektroſcop conſtruirt, in welchem er die trockne Säule durch ein Elektrophor erſetzt. (Neue Theorie des Elektrophors und ein neues Harzkuchen-Elektroſcop von Dr. Franz Petrina, aus den Abhandlungen der königl. Böhmiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften. V. Folge, Bd. 4, beſonders abgedruckt. Prag 1846.) Das Goldblättchen hängt zwiſchen zwei Metallſcheibchen, von denen das eine mit dem Deckel, das andere mit der iſolirten Form eines kleinen Harzkuchen-Elektrophors in leitender Verbindung ſteht; durch eine beſondere Vorrichtung kann die Form mit dem Kuchen geſenkt werden, wodurch dann das eine Scheibchen (das mit dem Deckel verbundene) eine poſitive, das andere eine negative Ladung erhält, ſo daß die beiden Scheibchen hier dieſelbe Rolle ſpielen, wie die Polplatten der trocknen Säule im Bohnenberger'ſchen Elektrometer.

Es iſt dies in der That eine recht ſinnreiche Anwendung des Elektrophors und, wenn wir das Säulen-Electrometer nicht beſäßen, ſo würden wir das Harzkuchen-Elektroſcop als eine wichtige Bereicherung des elektriſchen Apparates begrüßen; ob aber dies Inſtrument neben dem Säulen-Elektrometer eine praktiſche Bedeutung erlangen wird, möchte ich ſehr bezweifeln. Petrina meint zwar, es ſey leichter zu conſtruiren, weil es leichter iſt, einen guten Harzkuchen zu verfertigen, als eine gute Zamboniſche Säule, allein die Vorrichtung zum Heben und Senken des Tellers ſammt Harzkuchen mag wohl den Unterſchied wieder ausgleichen. Der einzige reelle Vortheil des Petrina'ſchen Apparates dürfte wohl nur der ſeyn, daß er nie durch Kraftverluſt unbrauchbar werden kann, weil der Kuchen, wenn er ſchwach werden ſollte, immer wieder elektriſch gemacht werden kann.

Was den übrigen Inhalt der Abhandlung von Petrina betrifft, ſo müßte er an einer andern Stelle beſprochen werden, ich werde jedoch nicht weiter darauf zurückkommen, weil es ſich hier nicht um neue Thatſachen handelt, ſondern um Anſichten, deren Richtigkeit noch ſehr problematiſch iſt.

16 **Beobachtung der atmoſphäriſchen Elektricität.** Romershauſen hat einen Apparat zur Beobachtung der atmoſphäriſchen Electricität

Fig. 16.



conſtruirt, deſſen Einrichtung aus Fig. 16 erſichtlich iſt. (P. A. LXIX, 71).

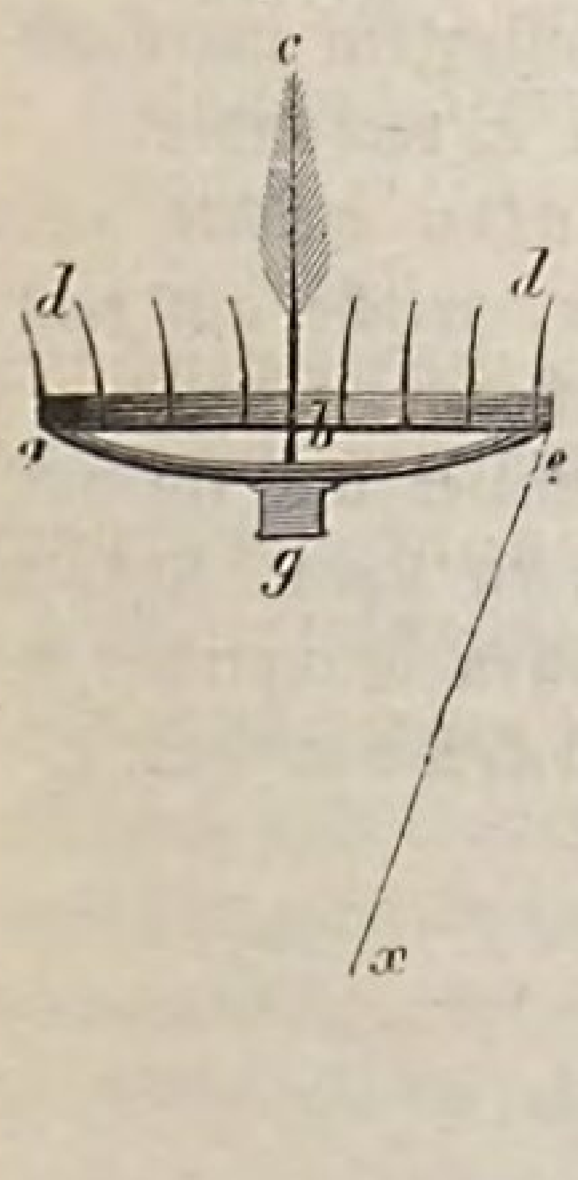
Fig. 16 zeigt die Anbringung der Auffangvorrichtung an jeder beliebigen Wohnung und für jedes Stockwerk derſelben.

H das Haus, deſſen Dach *D* ohne Nachtheil die Auffangsvorrichtung überragen kann. *F* irgend ein Fenſter des Wohnzimmers eines Beobachters.

mn die Auffangſtange in gewöhnlicher Conſtruction. Sie ruht oberhalb des Fenſters in einem ſtarken eiſernen Schuh *m* und wird, vermittelſt eines einzuhängenden Hakens *l*, in einem Einſchnitt *k* des Daches leicht und ſicher befeſtigt. Sie ragt ſeitwärts vom Haus in das Freie hinaus und hat folgende beſondere Einrichtung.

Die etwa 10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholze, iſt bei *i* mit einer Meſſinghülſe verſehen, in welche der maſſive, mit Schellack überzogene $1\frac{1}{2}$ Fuß lange Glasſtab *h* eingekittet iſt. Dieſer trägt alsdann oberhalb die Auffangsvorrichtung *gn*.

Fig. 17.

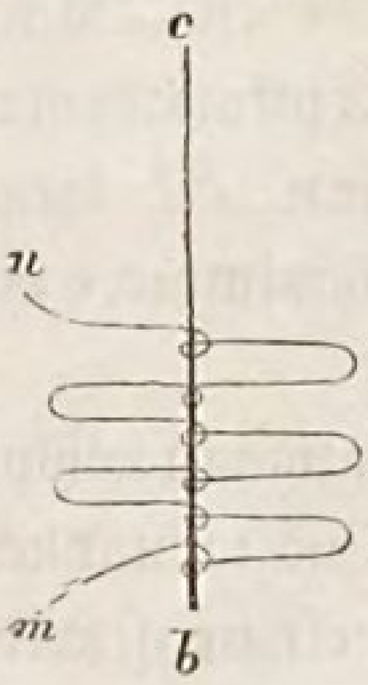


Zu mehrerer Deutlichkeit iſt dieſe Auffangsvorrichtung in Fig. 17 größer und im Durchſchnitt gezeichnet. *ae* iſt ein 5 Zoll im Durchmeſſer haltender flacher Kupferring, an welchen im Innern die kupfernen, galvaniſch vergoldeten und nach oben fein zugeſpitzten Auffangsdrähte *dd* angelöthet ſind, ſo daß ſie, etwas nach Außen gebogen, gleichſam eine Krone bilden. Eine im Durchmeſſer derſelben angebrachte und etwas nach unten gebogene Kupferſchiene trägt unterhalb die Hülſe *g* zur Befeſtigung auf der Glasſtange *h*, und oberhalb iſt eine höhere Drahtſpitze *bc* eingelöthet. Dieſe Drahtſpitze iſt das wichtigſte der ganzen Vorrichtung, da ſie allein,

nach ſicherer Erfahrung, die feinſten Nüancen der atmoſphäriſchen Elektricität bemerklich macht. Ihre Conſtruction iſt folgende.

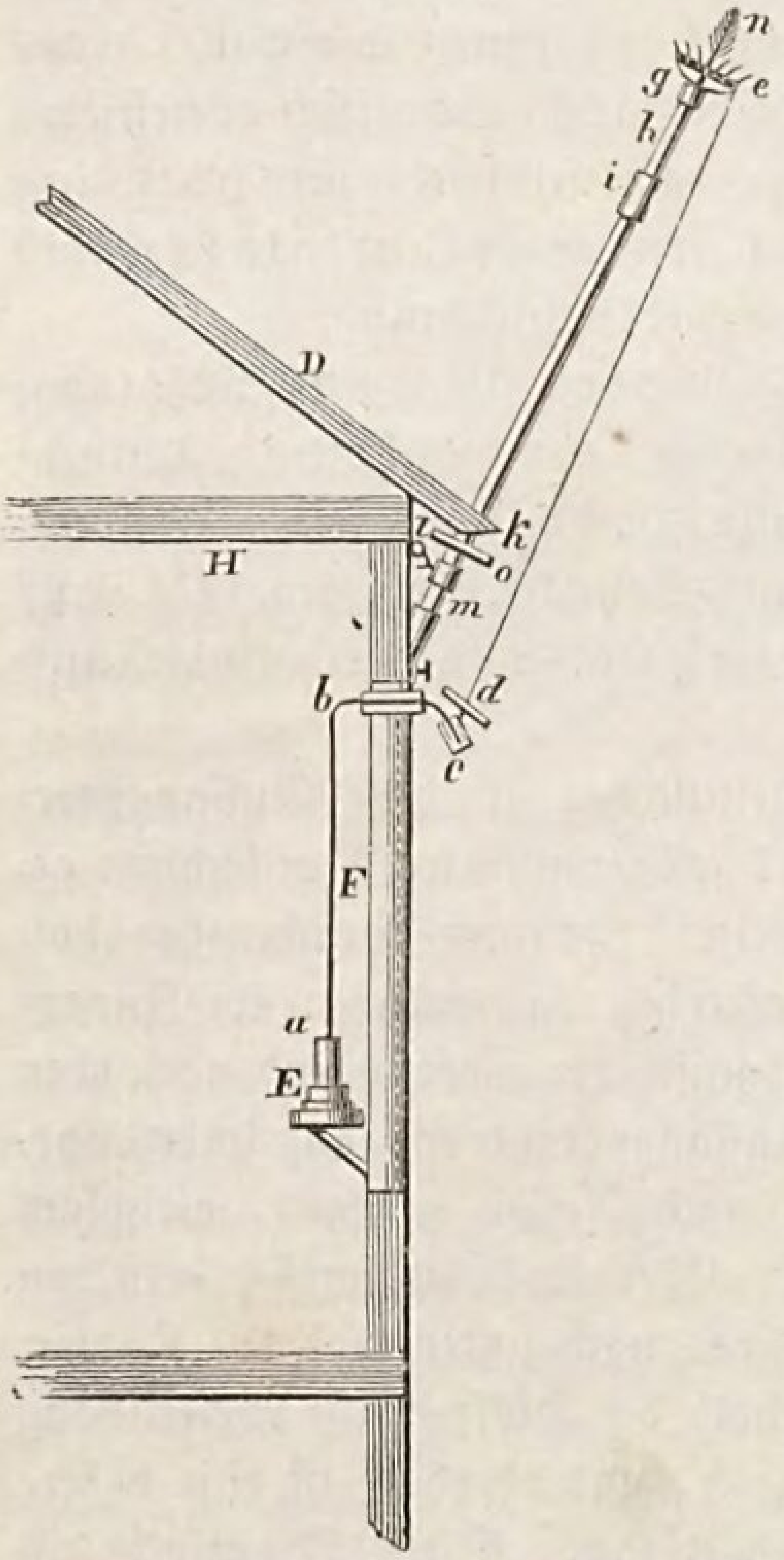
Der oben fein zugeſpitzte und vergoldete, etwa eine Pariſer Linie im Durchmeſſer haltende Kupferdraht iſt ringsum mit den feinſten haarförmigen Platinſpitzen umgeben und wird am leichteſten auf folgende Art verfertigt: Der Draht wird, ſo weit die Platinſpitzen reichen, mit Zinnloth überzogen, alsdann in der Art, wie Fig. 18 verdeutlicht, mit dem feinſten Platindraht umwunden und die Windungen über einer Spirituslampe eingeſchmolzen. Die Schleifen werden alsdann aufgeſchnitten und nach Anſicht der Fig. 17 ringsum geordnet.

Fig. 18.



Der Leitungsdraht *de*, Fig. 19, von Kupfer, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet, bei *d* erhält derſelbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt. (Ein gleiches iſt bei *o* an der Stange angebracht.) An den Leitungsdraht *ed* iſt ſodann unten bei *c* eine kleine gut paſſende Kupferhülſe, in angegebener Richtung, zum Einhaken an die aus dem Zimmer kommende Drahtleitung angelöthet. Der Fenſterrahm iſt in der obern Ecke durchbohrt, um den in einer Glasröhre mit Schellack wohl eingekitteten Leitungsdraht zu befeſtigen und vollſtändig iſolirt in das Zimmer zu führen. Bei *b* iſt derſelbe nach *a* herabgebogen und mit dem ſeitwärts vom Fenſter und außer der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenſtrahlen angebrachten Elektrometer *E* verbunden.

Fig. 19.



Romershauſen wendet zwei Elektrometer an, welche auf demſelben Käſtchen ſtehen, nämlich ein Säulen-Elektrometer und ein nach dem Dellmann'ſchen Princip conſtruirtes, deſſen Haupttheil bereits Seite 29 beſprochen wurde.

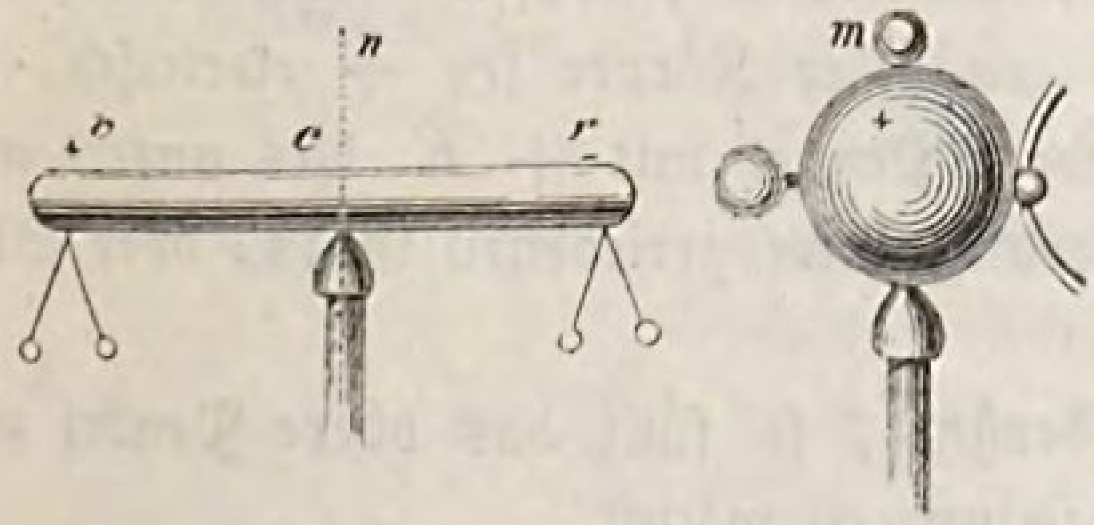
Zweiter Abſchnitt.

Vertheilung und Bindung der Elektricität.

Einleitung. Die Art und Weiſe, wie Biot die Vertheilung der 17
Elektricität auf einem iſolirten Leiter nachgewieſen hat, dem ein elektriſcher Körper genähert wird, könnte wohl genügen, um jeden Zweifel über das Weſen der Vertheilung und Bindung der Elektricität zu heben; dennoch hat ſich über dieſen Gegenſtand, durch Pfaff's Einwendungen veranlaßt, ein Streit erhoben.

Das Geſchichtliche darüber findet ſich im zweiten Bande von Dove's Repertorium Seite 29

Fig. 20.

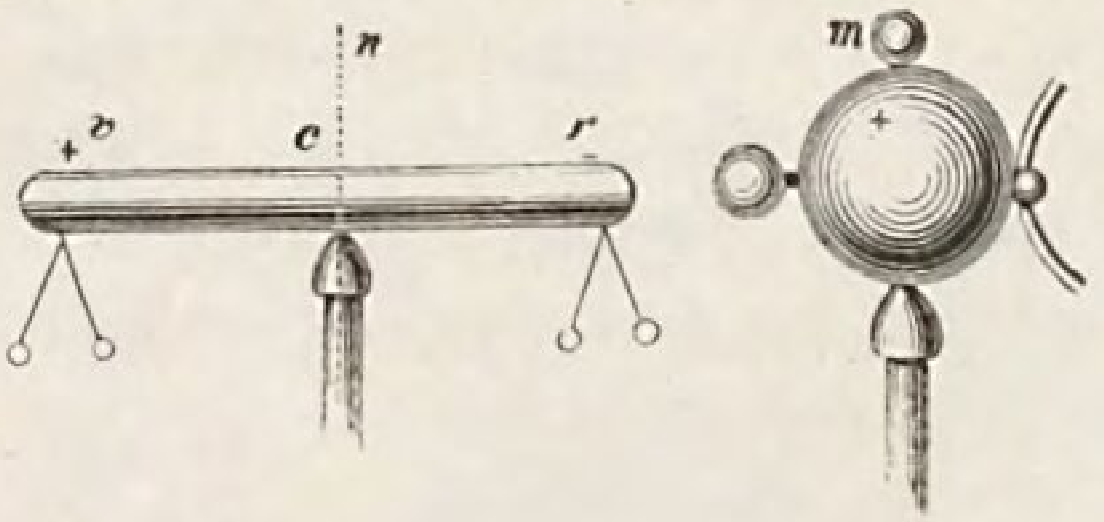


Nähert man einem etwa poſitiv geladenen Körper m, Fig. 20, einen iſolirten Conductor c, ſo wird c bekanntlich durch Vertheilung elektriſch; auf dem gegen m gerichteten Ende findet ſich die angezogene $-E$, am entgegengeſetzten Ende die abgeſtoßene $+E$, wie man dieß durch das Probeſcheibchen nachweiſen kann.

Berührt man den iſolirten Conductor, ſo kann man die abgeſtoßene Elektricität ableiten, während die von m angezogene Elektricität auf c gebunden zurückbleibt.

Pfaff behauptet nun, daß dieſe gebundene Elektricität durchaus nicht nach außen hin wirken könne, während Biot dieſe freie Wirkung dadurch nachgewieſen hatte, daß er an beide Enden des Conductors elektriſche Pendel aufhing, die an dem einen Ende mit der angezogenen, an dem andern Ende mit der abgeſtoßenen Elektricität divergiren. Berührt man den

Fig. 21.

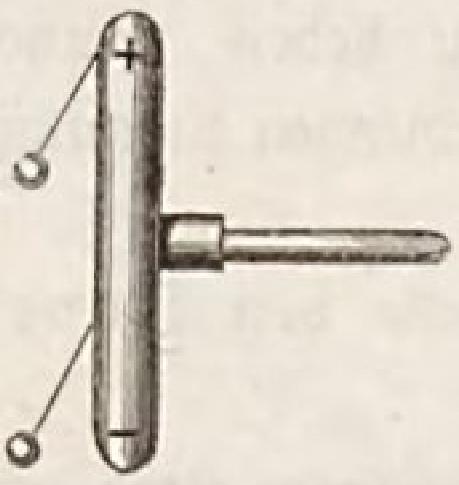


Conductor, ſo fällt das entferntere Pendelpaar zuſammen, während die Bewegung des zunächſt bei *m* hängenden Pendelpaares zunimmt.

Obgleich dieſer Verſuch bei einiger Vorſicht, namentlich wenn *m* nicht zu ſtark geladen iſt, nicht leicht mißlingt, ſo iſt es doch mehreren Beobachtern nicht gelungen, ihn rein darzuſtellen, wodurch wohl der ganze Streit über die Natur der gebundenen Elektricität entſtanden ſeyn mag. Das Mißliche des Verſuchs entſteht, wie Rieß richtig bemerkt, dadurch, daß die Elektricität des vertheilenden Körpers rechtwinklig gegen die elektroſcopiſchen Pendel wirkt und ſie von ihrer perpendiculären Stellung ablenkt.

Rieß hat dieſen Uebelſtand durch folgende Anordnung des Verſuchs vermieden. Ein ungefähr 5 Zoll langer und 3 Linien dicker Metallſtab mit abgerundeten Enden iſt in ſeiner Mitte an einem iſolirenden Handgriff befeſtigt, wie Fig. 22 zeigt, und wird vermittelſt dieſes Handgriffs in vertikaler Stellung gehalten. Oben und unten iſt er mit einer an einem Leinenfaden hängenden Hollundermark-Kugel verſehen.

Fig. 22.



+

Nähert man von unten her einen elektriſchen Körper, ſo werden beide Kugeln abgeſtoßen. Nehmen wir an, der von unten genäherte Körper ſey + electriſch, ſo divergirt das obere Pendel mit $+ E$, das untere mit $- E$, wie ſich leicht durch Annäherung einer geriebenen Glas- oder Siegellackſtange zeigen kann.

Wird nun der Stab ableitend berührt, ſo fällt das obere Pendel zuſammen, während die Divergenz des untern wächſt.

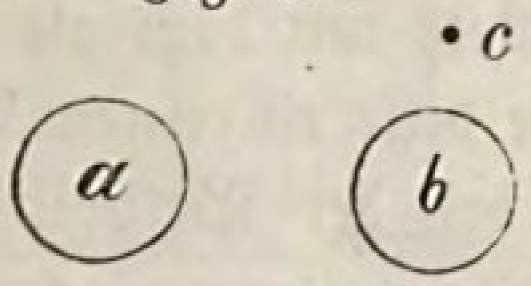
Am untern Ende des Stabes befindet ſich jetzt nur gebundene $- E$, eben ſo in der unteren Kugel; die Elektricität des unteren Stabendes wirkt alſo, obgleich ſie gebunden iſt, abſtoßend auf die gleichnamige gleichfalls gebundene Elektricität der Kugel; die gebundene Elektricität wirkt alſo frei in die Ferne ganz eben ſo, als ob ſie nicht gebunden ſey.

Die Divergenz des unteren Pendels beweiſt, daß ſich die Theilchen der gebundenen Elektricität unter einander gerade eben ſo abſtoßen, wie dies bei der nicht gebundenen Elektricität der Fall iſt, folglich kommt der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen eben ſo zu, wie der freien, und wenn man die gebundene Elektricität durch leitende Verbindung mit

dem Boden nicht abführen kann, ſo liegt dieß nicht darin, daß die gebundene Elektricität kein Propagationsvermögen hat, ſondern darin, daß ſie durch die Anziehung der entgegengeſetzten Elektricität auf dem vertheilenden und bindenden Körper zurückgehalten wird. Der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen abſprechen, heißt ungefähr eben ſo viel, als wenn man behaupten wollte, ein Stein, der auf dem Boden liegt, habe eben dadurch ſeine Fähigkeit zu fallen verloren.

Durch den Rieß'ſchen Verſuch iſt nun gegen allen Widerſpruch bewieſen, daß die gebundene Elektricität ganz eben ſo in die Ferne wirkt, als ob ſie nicht gebunden wäre.

Fig. 23.

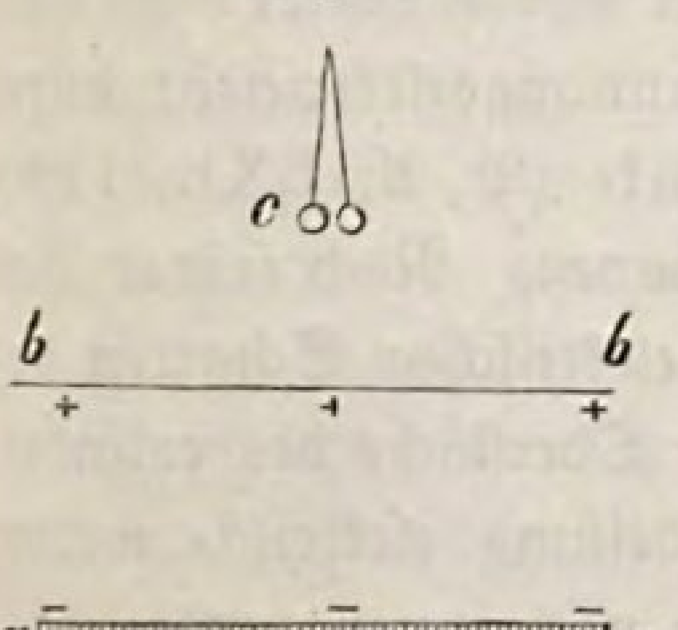


Wenn ein elektriſcher Körper *a* die entgegengeſetzte Elektricität auf einem mit dem Boden in leitende Verbindung gebrachten Leiter *b* gebunden hat, ſo wirkt auf irgend einen in der Nähe befindlichen Punkt *c* ſowohl die Elektricität von *a* als auch die von *b*, weil aber *a* und *b* mit entgegengeſetzter Elektricität geladen ſind, ſo kann in *c* nur die Differenz ihrer Wirkungen beobachtet werden.

Nachdem man nun durch den Rieß'ſchen Verſuch die beſprochene Frage wohl als abgemacht betrachten konnte, erhebt Knochenhauer abermals neue Bedenken (P. A. XLVII. 444).

Er machte nämlich einen Harzkuchen elektriſch, ſpannte über ihn in beliebigen Abſtänden ein Stanniolblatt aus und nahm durch Berührung deſſelben mit dem Finger die freie negative Elektricität fort. Nähert man dieſen Apparat, welcher Fig. 24 ſchematiſch dargeſtellt iſt, von unten zweien an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen, ſo zeigt ſich auf keinerlei Weiſe eine Divergenz derſelben, welches auch die Entfernung des Pendels von dem durch gebundene + *E* geladenen Stanniolblatte ſeyn mogte.

Fig. 24.



Knochenhauer folgert aus dieſem Verſuche, daß, wenn zwei entgegengeſetzte Elektricitäten ſich je nach ihrer Diſtanz vollſtändig binden, ſie alle Wirkung nach außen verlieren und allein in Beziehung auf einander ſtehen, denn man könne doch nicht annehmen, daß, falls wirklich die gegenſeitig gebundenen Elektricitäten noch frei nach außen wirken könnten, dieſe Wirkungen ſich für alle Punkte über dem Stanniolblatte vollſtändig neutraliſiren würden.

Dieſe Knochenhauer'ſchen Einwürfe hat nun Fechner vollſtändig widerlegt (P. A. LI. 321). Er hat gezeigt, daß man mit Hülfe der

an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkugeln nur deshalb keine elektriſche Wirkung oberhalb der vertheilten Platte nachweiſen kann, weil ſie gegen ſchwache Ladungen zu unempfindlich ſind. Bringt man an die Stelle dieſer Pendel eine Probeplatte, berührt man dieſe für einen Moment ableitend mit dem Finger, ſo zeigt ſich dieſe Probeplatte nachher am Säulen-Elektrometer allerdings elektriſch und zwar gleichnamig mit *bb*, ein Beweis, daß die Wirkung, welche *a a* auf *c* ausübt, die Wirkung der gebundenen Elektricität in *b b* auf *c* überwiegt.

Fechner hat dieſen Verſuch nicht allein in der eben beſprochenen Form, ſondern in mehrfacher Weiſe abgeändert und ſtets mit dem gleichen Erfolge wiederholt. Es wird nicht nöthig ſeyn, alle dieſe einzelnen Verſuchsformen zu beſchreiben, namentlich da wir bei der Beſprechung der Faraday'ſchen Unterſuchungen über elektriſche Vertheilung nochmals auf einige Punkte der Fechner'ſchen Arbeit zurückkommen.

Am Schluſſe des Berichtes über dieſe Verſuche ſagt Fechner:

»Nach den vorſtehenden Verſuchen dürfte man hinreichend berechtigt ſeyn, die anziehenden und abſtoßenden Wirkungen der bindenden und der ſogenannten gebundenen Elektricität aus demſelben Geſichtspunkte zu betrachten, als die freie Elektricität. Die gebundene Elektricität wird dadurch, daß ſie gebunden iſt, durchaus mit keinen neuen Eigenſchaften begabt. Wenn ihre Anziehung und Abſtoßung nicht mehr ſpürbar wird, ſo erklärt ſich dies dadurch, daß ſie von der entgegengeſetzten Wirkung der bindenden Elektricität ſtets im Gleichgewicht gehalten oder überwogen wird u. ſ. w.«

Petrina hat zwar abermals Zweifel gegen die von Fechner gerechtfertigte Anſicht zu erheben geſucht, daß die Spannungselektricität durch einen nicht iſolirten Elektricitätsleiter hindurchwirke (P. A. LXI. 116), ohne jedoch etwas Entſcheidendes vorbringen zu können. Nach ſeiner Anſicht rührt die Elektricität, welche Fechner im elektriſchen Schatten der oberen Metallplatte fand, daher, daß die krumme Oberfläche des cylindriſchen Raumes über der oberen Platte durch Vertheilung elektriſch werde, und daß ſich von da aus die vertheilende Wirkung nach innen verbreitet.

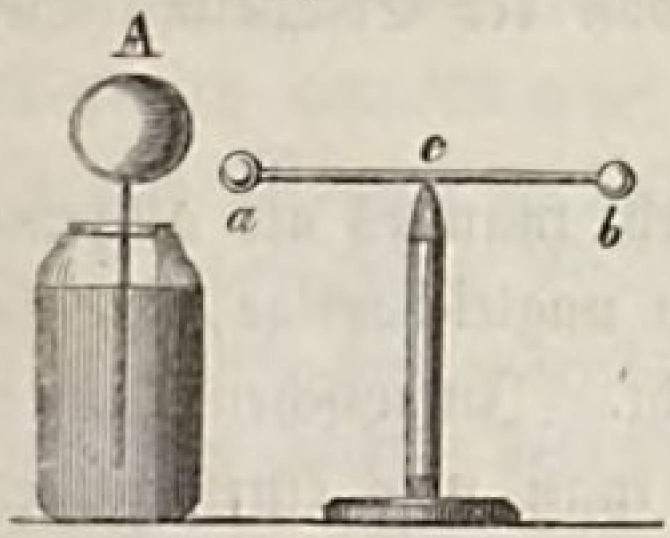
Petrina hat dieſe abentheuerliche Idee weder begründet, noch die ſich aus ihr ergebenden Conſequenzen weiter ausgeführt. Es bleibt dunkel, wie er ſich den Vorgang eigentlich vorſtellt.

Daß die Elektricität einer kräftigen Elektriſirmaſchine durch eine Zimmerwand und eine geſchloſſene Thür hindurch keine merkliche vertheilende Wirkung mehr ausüben kann, darf uns wahrlich nicht befremden, und kann durchaus nicht als Argument gegen die von Fechner vertheidigte Anſicht gelten.

Im weiteren Verlauf der oben beſprochenen Fechner'ſchen Abhandlung beſchreibt derſelbe Verſuche, die er anſtellte, um zu ermitteln, wie ſich die Elektricität auf einem iſolirten vertheilten Körper verbreitet. Die weſentlichſten Reſultate dieſer Verſuche ſind folgende.

Eine kleine Leidner Flaſche war mit einer Metallkugel *A* (Fig. 25) von 3 Zoll Durchmeſſer verſehen, poſitiv geladen und iſolirt aufgeſtellt. Der Kugel gegenüber wurde ein meſſingener Leiter *a c b* iſolirt aufgeſtellt. Dieſer Leiter iſt cylindriſch, von 5,2 Linien Durchmeſſer, mit kugelförmigen Knöpfen von 8,3 Linien Durchmeſſer an den Enden und 16 Zoll Länge. *a* und *A* ſtanden 2 Zoll von einander ab.

Fig. 25.



Wurde der Leiter bei *a* ableitend mit dem Finger berührt, ſo zeigte ein Probeſcheibchen ſtets negative Elektricität, an welcher Stelle des Leiters man es auch anlegen mogte, ſelbſt bei *b* fand ſich negative Elektricität, doch mit zunehmender Stärke nach *a* hin. Auch auf den ableitend berührenden Finger oder die Hand geſetzt, nahm die Probeſcheibe — *E* an.

Wurde nun die Hand zurückgezogen, ſo daß der Leiter *a b* wieder iſolirt war, ſo gab die größere Hälfte nach *b* zu poſitive, die kleinere nach *a* zu negative Elektricität an die Prüfungsplatte ab.

Dies Reſultat ſcheint anfangs auffallend, erklärt ſich aber ſehr leicht durch folgende Betrachtung:

Wenn der Leiter bei *a* ableitend berührt wird, ſo iſt auf der Hand auch von *A* angezogene — *E* angehäuft, die jedenfalls abſtoßend auf die in *a* befindliche wirken muß. In *a* halten ſich die abſtoßende Wirkung der — *E* von der Hand aus und die anziehende Wirkung der + *E* in der Kugel *A* auf die hier vorhandene — *E* das Gleichgewicht, wird alſo die — *E* auf der Hand entfernt, ſo kann ſich in *a* mehr — *E* anhäufen, ein Theil der neutralen *E* auf *a b* wird noch zerſetzt, die — *E* ſtrömt nach *a*, während gegen *b* hin ſich die von *A* abgeſtoßene + *E* anſammeln wird.

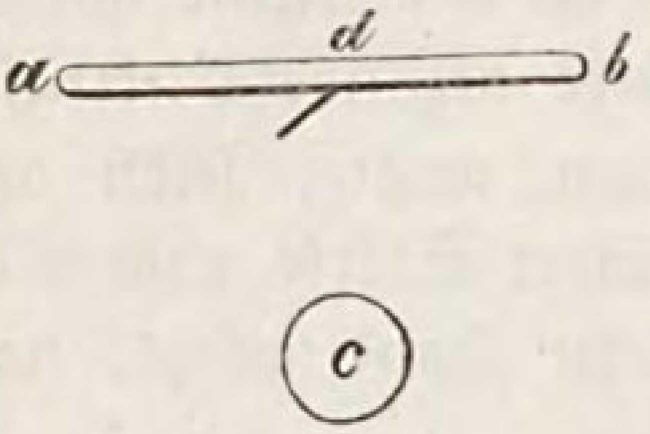
Berührt man dagegen den Leiter ableitend bei *b*, ſo zeigt er ſeiner ganzen Länge nach — *E*, wachſend von *b* nach *a*, doch bei *b* nur ſehr ſchwach; zieht man den Finger zurück, ſo zeigt ſich auch noch jetzt der ganze Leiter negativ elektriſch, wachſend von *b* nach *a* zu, wie es wohl vorauszuſehen iſt.

Welche Anordnung der Elektricität auf einem Leiter eintreten müſſe, welcher vertheilenden Einflüſſen ausgeſetzt iſt, wurde von Poiſſon auf rein mathematiſche Beſtimmungen gebracht, die auf nichts fußen, als

auf den bekannten Anziehungs- und Abſtoßungsgeſetzen der Elektricität. Die practiſche Anwendung des Princips ſtößt aber in vielen Fällen auf große Schwierigkeiten, weil es ſich um die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Wirkungen von unendlich vielen Punkten handelt. Mit allgemeinen Betrachtungen iſt begreiflicher Weiſe nicht viel auf einem Felde zu erzielen, auf welchem die Ermittelung der Reſultate ſelbſt für den Calcul zu ſchwierig wird. In ſolchen Fällen wird man von der Erfahrung Belehrung ſuchen müſſen.

Wenn ein iſolirter Leiter vertheilt wird, ſo ſieht man es als allgemeine Regel an, daß die der vertheilenden Elektricität ungleichartige, ihr ſelbſt möglichſt nahe, die gleichartige möglichſt fern geht. Inzwiſchen läßt dieſe Regel, ſelbſt wenn man nur einen allgemeinen Anhalt darin ſuchen will, vieles unbeſtimmt.

Fig. 26.



Eine iſolirte leitende Scheibe, *a b* (Fig. 26) ſey der vertheilenden Wirkung einer elektriſirten Kugel *c* ausgeſetzt. Wie werden ſich die beiden Elektricitäten auf *a b* vertheilen? Sind die Ränder *ab* der vertheilten Scheibe oder iſt die Mitte der Rückſeite *d* als der entfernteſte Punkt der Scheibe anzuſehen? Hat man, wenn *c* poſitiv iſt, in *d* poſitive oder negative Elektrität zu erwarten?

Fechner ſtellt eine Reihe von Verſuchen an, eine dieſer Fragen zu beantworten. Die angezogene — *E* iſt auf der Mitte der Vorderfläche am ſtärkſten angehäuft und nimmt nach dem Rande zu ab; auf der Rückſeite findet ſich die abgeſtoßene + *E*, deren Dichtigkeit in der Mitte bei *b* ſehr gering nach dem Rande hin zunimmt. Die abgeſtoßene + *E* greift noch um den Rand herum, ſo daß ſich am Rande auch auf der Vorderſeite noch + *E* befindet; die Indifferenzlinie zwiſchen + *E* und — *E* liegt alſo auf der Vorderſeite, und zwar rückt ſie der Mitte um ſo näher, je mehr die vertheilende Kugel der vertheilten Scheibe genähert wird.

Aehnliche Verſuche ſtellte Fechner mit Stäben und Streifen von Metall an.

18 **Knochenhauer's weitere Unterſuchungen über gebundene Elektricität.** Die Fechner'ſchen Verſuche waren nicht im Stande, alle Zweifel Knochenhauer's über das Weſen der gebundenen Elektricität zu heben. Dieſe Zweifel veranlaßte ihn zu einer weiteren Reihe von Verſuchen, die wir jetzt beſprechen wollen.

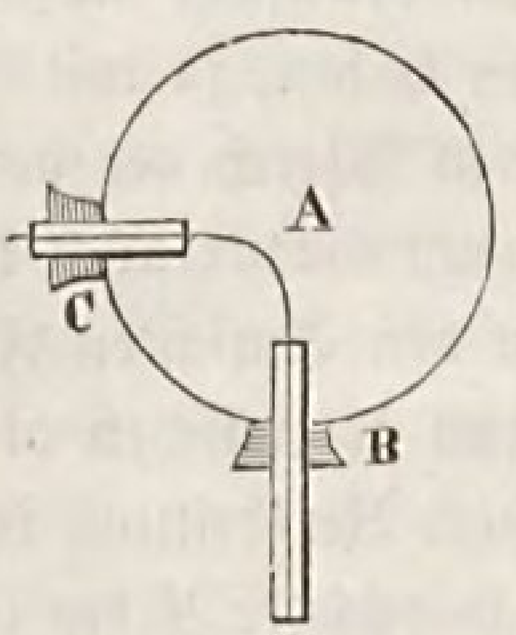
Der nächſte hierher gehörige Aufſatz Knochenhauer's (P. A. LVIII. 31) führt die Ueberſchrift »Verſuche über gebundene Elektricität.« Der Eingang zu dieſem Aufſatz lautet wörtlich ſo:

„Aus der Abhandlung von Fechner in dieſen Annalen, worin er die »von mir ausgeſprochene Anſicht über das Verhalten der gebundenen Elektricität zurückweiſt, lernte ich ſowohl die Unzulänglichkeit der von mir beigebrachten Verſuche kennen, als auch den Fehler in meiner Anſicht, wenigſtens in der ihr gegebenen Ausdehnung und Faſſung. Ich ließ damals aus Mangel an beſſeren Hülfsmitteln die Sache auf ſich beruhen. »Als ich indeß ſpäter Veranlaſſung hatte, über die Grundgeſetze der Elektricität weiter nachzudenken, dabei namentlich die Arbeiten von Faraday »und Rieß gehörig betrachtete und mehrere von ihren Angaben ſelbſt unterſuchte, da entſtanden mir wiederum neue Zweifel über die Wahrheit »der hergebrachten Anſichten von dem Verhalten der gebundenen Elektricität in ihrer Beziehung zu der urſprünglichen Elektricität, von welcher ſie »eben gebunden wird. Einzelne Thatſachen, die unwiderleglich vorlagen, »konnten entweder von mir danach nicht erklärt werden, oder es mußten »wenigſtens manche Umſtände noch in ein helleres Licht geſetzt werden, um »ſicheren Aufſchluß zu bekommen. Um mir nun dieſen Aufſchluß zu verſchaffen, habe ich eine Reihe von Verſuchen mit aller mir möglichen »Sorgfalt angeſtellt, und obſchon auch dieſe bis jetzt keineswegs als abgeſchloſſen angeſehen werden kann, ſo glaube ich ſie doch zunächſt mittheilen »zu dürfen, indem ich die Fortſetzung bis auf eine andere freie Zeit verſchieben muß. Ich werde dieſe Verſuche ohne alle Rückſicht auf irgend »eine Theorie mittheilen, rein, ſo wie ſie ſich ergeben haben, ja mit hinreichendem Detail, um Anderen das Urtheil über den Werth der von mir »abgeleiteten Formeln zu erleichtern; indeß will ich zum voraus auch keineswegs verſchweigen, daß ich nach ihnen ziemlich zu den Anſichten Faraday's gelange, nur mit dem Unterſchiede, daß wenn er zwiſchen den beiden Körpern, die ſich gegenſeitig elektriſch binden, eine Vertheilung in dem »von ihm ſo benannten Dielectricum annimmt, ich dieſelbe lieber in den »Aether ſetzen mögte, der ſowohl im leeren Raume als im Dielectricum »enthalten iſt. Ich halte nämlich dafür, daß wir bei der Elektricität den »poſitiven und den negativen Strom nie von einander trennen dürfen, und »daß wo der eine iſt, auch der andere in entgegengeſetzter Richtung an derſelben Stelle vorkommt; wenn demnach zwei Körper in Wechſelwirkung »mit einander ſtehen, der eine poſitive, der andere negative Elektricität »enthält, und wenn endlich der Funke erfolgt, ſo kann weder der Hergang »der ſeyn, daß von einem Körper poſitive, vom andern negative Elektricität ausgeht, die ſich in der Mitte vereinigen, noch kann eine allein den »Weg durchlaufen, ſondern auf dem ganzen Wege des Funkens iſt poſitive

»und negative Elektricität zugleich. Dieß aber iſt wieder nur dann mög»lich, wenn vorher, ehe der Funken überſchlägt, in dem Zwiſchenraume »ſelbſt irgend eine beſondere Dispoſition vorangeht; ich will ſie elektriſche »Spannung des Aethers nennen. Dieſe wird durch fortgeſetzte Ladung ge»ſteigert, und kommt endlich zu einem ſolchen Grade, daß der Nichtleiter »ihrem Andrange nicht mehr widerſtehn kann, und die elektriſche Schwingung »des geſpannten Aethers erfolgt. Für nichts anderes nämlich als für eine »eigenthümliche Schwingung, deren Art und Weiſe noch zu finden iſt, be»trachte ich den Funken. Doch ich übergehe das Weitere, das bis jetzt nur »Hypotheſe bleibt, und kehre zu den Verſuchen ſelbſt zurück.

»Ich will jetzt zuerſt erwähnen, was mir in den bisherigen Thatſachen vor»nehmlich auffallend war. Nimmt man einen iſolirten Leiter *A* von paſſender »Form, theilt ihm z. B. poſitive Elektricität mit, und ſtellt in zweckmäßigen »Entfernungen hinter einander zwei andere nicht iſolirte Körper *B* und *C*, ſo er»halten beide nach hergeſtelltem Gleichgewicht gebundene negative Elektricität, »und wenn ſie ſich frei bewegen können, ſo geht *B* von *C* ab nach *A* zu, *C* von »*B* ab weiter von *A* fort. Die negative Elektricität auf *C* ſoll der Ueberſchuß »ſeyn von der von *A* aus gebundenen negativen und von der von *B* aus gebun»denen poſitiven Elektricität. Hier fragt ſich nun, findet die electriſche Verthei»lung und die elektriſche Anziehung nach denſelben oder nach differenten »Geſetzen Statt; gilt der erſtere Fall, wie man doch gewöhnlich annimmt, »wie kann in *C* die poſitive Elektricität von *A* »mehr binden, als die negative von *B*, und »doch die Anziehung von *A* aus geringer ſeyn, »als die von *B* aus? — Ferner nahm ich »eine Glaskugel von etwa 2 Zoll Durchmeſ»ſer, die bei *B* und *C* (Fig. 27) zwei Oeff»nungen mit Hülſen hatte; in die untere »ſteckte ich durch Schellack eine etwa einen Fuß »lange Glasröhre, in die andere *C* eine kür»zere mittelſt eines Korkes; durch beide Röh»ren ging ein dünner Kupferdraht, der bei *C* ein wenig hervorſah, die Kugel »ſelbſt war mit Lack überzogen. Wenn man dieſe Glaskugel an der Röhre »*B* hielt, indem man den Draht zugleich faßte, und ſie einem ſtark negati»ven Conductor ſo näherte, daß von der Spitze *C* aus derſelbe nicht geſehen »werden konnte, ſo ſtrömte doch von *C* ein deutlicher, über 1/4 Zoll langer »Büſchel poſitiver Elektricität aus. Dieſes Strömen ſoll von der ge»bundenen poſitiven Elektricität entſtehen, die hier etwa in der Mitte »des Drahts bei *A* ſich findet; dies zugegeben, ſo geht die ſtrömende po»ſitive Elektricität offenbar abwärts vom Conductor in die Luft, und

Fig. 27.



»könnten wir jetzt den Conductor ſo ſchützen, daß ſeine negative Elektri-»cität keine anderweitige Ableitung fände (welche Unmöglichkeit wenig-»ſtens mit der Spitze *C* nichts zu thun hat), ſo bliebe der Hergang unaus-»geſetzt derſelbe, und wir hätten in der That ein perpetuum mobile con-»ſtruirt. Ward übrigens die Kugel gedreht, ſo verſtärkte ſich nach und »nach der poſitive Büſchel; füllte man ſie mit Feilſpähnen, ſo ward der Her-»gang nicht geändert. — Eine wohl iſolirte Metallkugel mit zwei Spitzen »nach entgegengeſetzter Richtung werde in die Nähe eines z. B. poſitiv elek-»triſchen Conductors geſetzt, ſo ſtrömt die zugewandte Spitze negative, die »abgewandte poſitive Electricität aus. Bei zwei verſchiedenen Elektri-»citäten muß hier Zerſetzung in der Kugel ſtattfinden, die demnach nie auf-»hört. Doch dieſer Verſuch war mir in einer anderen Beziehung noch »wichtiger; hält man einen iſolirten Metallſtab, woran unten und oben »ein Pendel befeſtigt iſt, über einen geladenen Conductor, läßt aber an den »Metallfäden der Pendel unten die Kugel fort, ſo begeben ſich beide Pen-»del von dem Metallſtabe abwärts, allein der untere ſtrömt die dem Con-»ductor entgegengeſetzte, der andere die gleiche Elektricität aus. Der Ver-»ſuch iſt der urſprünglich von Rieß angegebene. Es zeigt ſich hier eben-»falls die Ablenkung, aber zugleich ein Zuſammenhang mit der Entladung. »Welcher Umſtand gilt demnach als Hauptſache? — Unter den von Rieß »ſtreng ermittelten Thatſachen blieb mir, wie an der fraglichen Stelle »gleichfalls ſchon bemerkt iſt, immer die merkwürdigſte, daß die Erwärmung »im Schließungsdrahte umgekehrt zum Quadrate ſeines Querſchnitts ſteht, »alſo vom Quadrate der Intenſität des durchgehenden Stromes abhängt. »Ich kann hierin nur die Thatſache erblicken, daß jeder elektriſche Strom »ein zwiefacher iſt, und hätte Rieß ſeine Formeln ſo geſtellt, daß er die »Erwärmung einmal von der Intenſität i und zweitens von der Dauer t »des Stromes abhängig geſetzt hätte, ſo wäre die Erwärmung ϑ unter ent-»ſprechenden Umſtänden immer zu $i^2 t$ proportional geweſen; denn da i pro-»portional mit $\frac{q}{s}$ nach ſeiner Bezeichnung wächſt und t direct mit q, um-»gekehrt mit der Intenſität i oder $\frac{q}{s}$ zunimmt, ſo geht dadurch die Er-»wärmung mit $\frac{q^2}{s}$ proportional. Alſo auch hier der Doppelſtrom. Nicht »weniger merkwürdig iſt der Umſtand, daß die Intenſität bei der Entla-»dung proportional zur Länge des Funkens iſt; ja das Auffallende würde »noch mehr hervortreten, wenn man den Abſtand der beiden Kugeln zwi-»ſchen denen ſich die Batterie entladet, weiter ausdehnen und die Gültig-»keit dieſes Geſetzes auch bei größeren Entfernungen durch Verſuche nach-»weiſen könnte. — So viel von den Dingen, die mich zu weiteren neuen

»Verſuchen veranlaßten. — Das erſte, was ich mir ſelbſt zu ermitteln »vorſetzte, war die Beſtimmung der Quantität der gebundenen Elektricität »in verſchiedenen Entfernungen.«

Ich habe dieſe Einleitung nur als ein Beiſpiel der höchſt confuſen Darſtellungsweiſe angeführt, welche ſich durch alle Abhandlungen Knochenhauer's durchzieht. Was er eigentlich will, muß der Leſer in den meiſten Fällen errathen. Er wirft die verſchiedenartigſten Dinge, die er durch nebelhaft gehaltene theoretiſche Andeutungen zu verbinden ſucht, bunt durcheinander. Die Schlüſſe, die er aus ſeinen Verſuchen zieht, ſind meiſt ſehr unklar entwickelt, und ſelten iſt es ihm gelungen, ein einfach und beſtimmt ausſprechbares Reſultat zu erhalten.

In Beziehung auf Unklarheit der Darſtellung könnte ſich Knochenhauer mit dem Beiſpiel anderer Phyſiker entſchuldigen, deren Namen in der Wiſſenſchaft hochgefeiert ſind; namentlich könnte er ſich auf Faraday berufen, deſſen theoretiſche Betrachtungen allerdings an großer Unklarheit leiden; aber ganz abgeſehen davon, daß die Berufung auf die Fehler anderer gewiß keine zuläſſige Rechtfertigung bietet, iſt doch auch zu bedenken, daß Faraday ſeinen Ruf, ſeine Bedeutung für die Wiſſenſchaft gewiß nicht durch ſeine nebelhaft gehaltenen theoretiſchen Betrachtungen über die Natur der elektriſchen Kräfte, ſondern der Entdeckung ſo zahlreicher wichtiger Thatſachen verdankt. Faraday iſt ein genialer Forſcher, ein unermüdlicher und glücklicher Experimentator, aber durchaus kein klarer Theoretiker. Die Unklarheit der Darſtellung, da wo er theoretiſche Anſichten beſpricht, kann man ihm ſchon zu Gute halten, weil er uns in ſeinen Abhandlungen eine ſolche Fülle der wichtigſten Thatſachen bietet.

Knochenhauer ſcheint das eigenthümliche Unglück zu haben, Verwirrung in allen Fragen anzurichten, die er behandelt. Nachdem Rieß ſo klar gezeigt hattte, daß man der gebundenen Elektricität durchaus keine beſonderen Eigenſchaften vindiciren könne, bringt er doch wieder Verſuche vor, welche die Sache abermals in Zweifel ziehen ſollen; Fechner beweiſt ihm die Unzulänglichkeit ſeiner Verſuche, Knochenhauer geſteht ſie ein, läßt ſich aber nicht abhalten, denſelben von neuem zu begehen und auf ungenaue Verſuche geſtützt, ein Geſetz über die Abnahme der Quantität der gebundenen Elektricität bei zunehmender Entfernung vom bindenden Körper zu publiciren, welches Allem, was wir von Bindung und Wirkung in der Ferne wiſſen, ſchnurſtracks widerſpricht, alſo alle unſere Fundamentalbegriffe über ſtatiſche Elektricität wieder in Frage ſtellt. Der Verſuch mit den drei Leitern, deſſen in der oben abgedruckten Einleitung zu der Knochenhauer'ſchen Abhandlung Erwähnung geſchieht, ſcheint

beſonders ſeine Zweifel erregt zu haben; wir wollen dieſen Verſuch etwas näher betrachten.

Drei Leiter *A*, *B* und *C* Fig. 28 ſeyen in gerader Linie aufgeſtellt. Iſt *A* iſolirt und mit $+E$ geladen, während *B* und *C* nicht iſolirt ſind, ſo werden ſich *B* und *C* mit gebundener $-E$ laden; ſind nun *B* und *C* beweglich, ſo bewegt ſich *B* gegen *A* hin, *C* von *A* weg, wie es die Pfeile der Figur andeuten. Nun ſagt Knochenhauer, da die $+E$ des Leiters *A* noch $-E$ auf *C* binden kann, da alſo die bindende Wirkung, die *A* auf *C* ausübt, diejenige von *B* auf *C* übertrifft, welche letztere *C* mit $+E$ zu laden ſtrebt, wie kommt es denn, daß *C* nicht auch ſtärker von *A* angezogen, als von *B* abgeſtoßen wird? — Wenn *A* ſtärker bindend auf *C* wirkt als *B*, ſo ſollte auch die von *A* ausgehende Anziehung überwiegen, wenn anziehende Kraft und Bindung mit wachſender Entfernung nach gleichen Geſetzen abnehmen.

Fig. 28.

Was ſoll man nun von dieſem Verſuche halten? Es fehlen durchaus alle näheren Angaben über die Art und Weiſe, wie er anzuſtellen iſt; es iſt nicht geſagt, wie groß die Leiter *A*, *B* und *C*, es iſt nicht geſagt, in welchen Entfernungen ſie aufgeſtellt ſind, kurz es fehlen alle Angaben, aus denen man einen Schluß auf die Bedeutung dieſes Verſuchs ziehen könnte; ja es hat faſt den Anſchein, als habe Knochenhauer einen ſolchen Verſuch, von dem er, wie von einer bekannten Thatſache ſpricht, gar nicht angeſtellt.

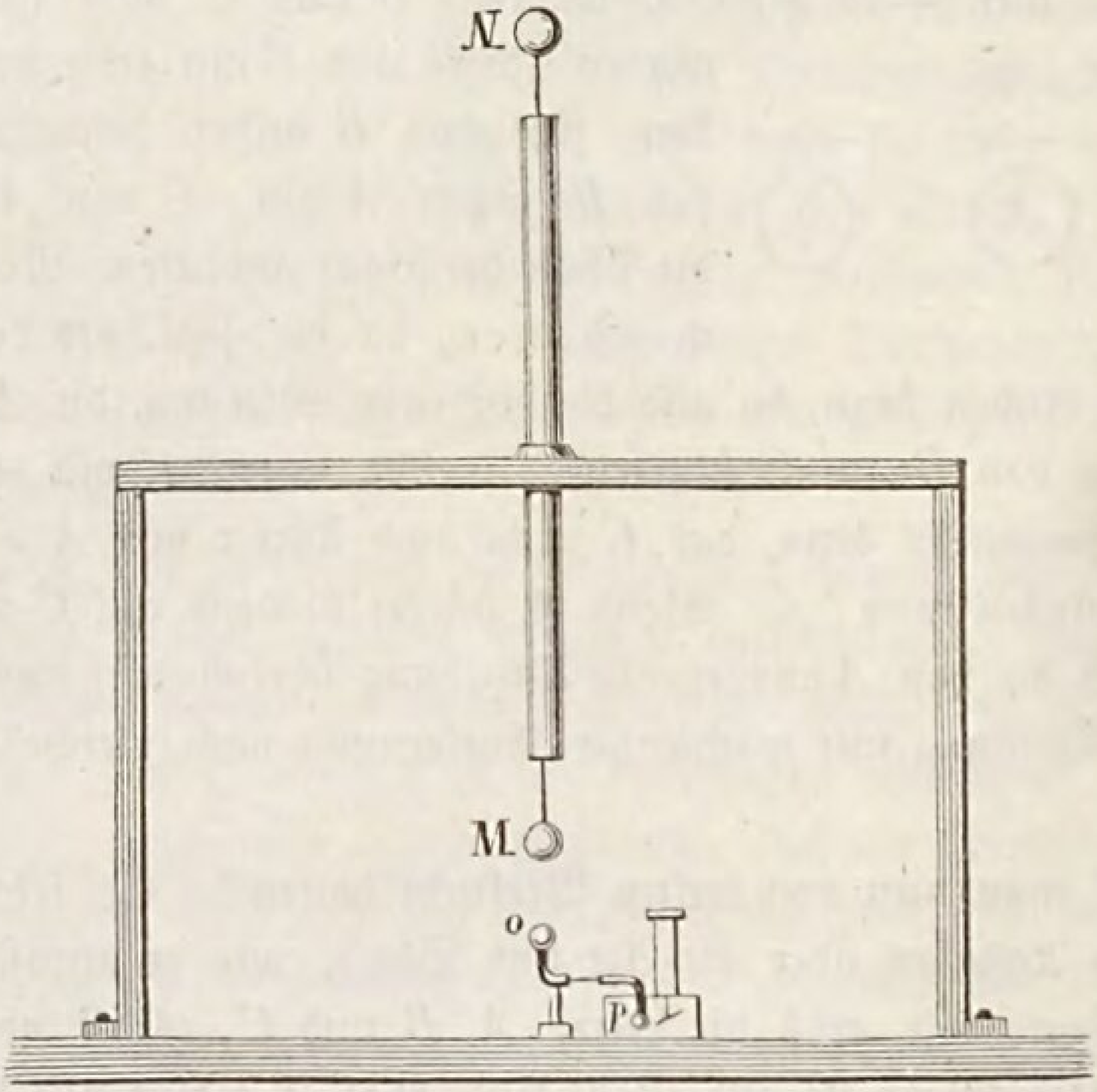
Gehen wir nun zu den Verſuchen über, durch welche Knochenhauer das Verhältniß der Menge der gebundenen Elektricität zur Entfernung vom bindenden Körper zu ermitteln ſucht.

Das Meßinſtrument, welches er zu dieſem Zwecke anwendet, iſt eine Coulomb'ſche Drehwage. Dieſe Drehwage ſteht in einem Rahmen, Fig. 29 (a. f. S.), welcher 2′ hoch und 3′ breit iſt. Durch die Mitte des oberen Balkens geht eine Glasröhre, in der ein Draht befeſtigt iſt, der unten *M*, oben *N* trägt. *M* ſteht gerade über *O*, *N* iſt mit der inneren Belegung einer Leidner Flaſche in Verbindung. Der gebogene Leitungsdraht, welcher *o* und *p* mit einander verbindet, iſt mit Schellak überzogen und ruht auf einem Fuß von Schwefel. Nur an einer Stelle iſt dieſer Draht frei von Schellack, ſo daß man ihn hier mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzen kann.

Die Verſuche wurden nun folgender Weiſe angeſtellt. Dem Faden wurde zunächſt eine Torſion von 5 Umdrehungen gegeben, und der Verbindungsdraht von *o* und *p* mit dem Boden in leitende Verbindung ge-

ſetzt. Nun wurde die Flaſche mit einer beſtimmten Quantität E geladen, dadurch verbreitete ſich eine beſtimmte Quantität E auf M, die eine be-

Fig. 29.



ſtimmte Quantität E auf o bindet. Dieſe auf o gebundene E wird aber frei, wenn die Flaſche und mit ihr M entladen wird, nachdem man die leitende Verbindung zwiſchen o und dem Boden aufgehoben hat; die frei gewordene E verbreitet ſich auch nach p, und bewirkt eine Drehung des beweglichen Balkens in der Drehwage, deren Größe von der Stärke der Ladung abhängt. Derſelbe Verſuch wurde bei verſchiedenen Entfernungen zwiſchen M und o wiederholt und immer die entſprechenden Ablenkungen der Drehwage beobachtet, aus denen dann Knochenhauer auf die Stärke der Ladung, alſo auch auf die Quantität der durch M auf o gebundenen Elektricität ſchließen zu können glaubt.

Folgendes ſind die Reſultate einer ſolchen Beobachtungsreihe.

d	x
1	33° 8′
4	23° 55′
9	16° 22′
16	10° 22′

d bezeichnet hier die Entfernung der Kugeln o und M, wobei 3 Pariſer Linien als Einheit genommen ſind.

Aus vielen ſolchen Verſuchsreihen leitet Knochenhauer für die Quantität J die in einer Entfernung d gebunden wird, die Formel

$$J = (0{,}70736)^{\sqrt{d}}\, E$$

ab, wo ſich E von einer Verſuchsreihe zur andern ändert.

Sehen wir nun zunächſt, wie dieſe Formel mit obiger Verſuchsreihe harmonirt. Nehmen wir, was ohne merklichen Fehler geſchehen kann, den Winkel x als die Entfernung zwiſchen den beiden ſich abſtoßenden Körpern in der Drehwage an. Iſt nun J die Intenſität der Elektricität auf der Kugel p und auf der Kugel des beweglichen Hebels, ſo iſt ihre gegenſeitige Abſtoßung $\frac{J^2}{x^2}$, und dieſe hält der Torſion des Fadens das Gleichgewicht, es iſt alſo

$$\frac{J^2}{x^2} = t$$

mithin

$$J = x\sqrt{t}$$

d. h. die Intenſität der elektriſchen Ladung iſt dem Ablenkungswinkel proportional, folglich muß auch

$$x = (0{,}70736)^{\sqrt{d}}\, N$$

ſeyn und damit ſtimmt obige Verſuchsreihe in der That ziemlich gut überein. Für $d = 1$ haben wir nämlich $x = 33{,}133^0$, es iſt alſo

$$33{,}133 = 0{,}70736 . N$$

und daraus

$$N = 47{,}33$$

es ergiebt ſich demnach ferner

$$\text{für } d = 4,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{4}} = 23^0, \ldots$$

$$d = 9,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{9}} = 16^0, \ldots$$

$$d = 16,\ x = 47{,}33\ (0{,}707\ldots)^{\sqrt{16}} = 11^0, \ldots .$$

Dieſe Verſuchsreihe, und ſo auch die andern ſcheinen alſo wirklich dieſes merkwürdige Geſetz

$$J = E\,(0{,}70736)^{\sqrt{d}}$$

zu beſtätigen, welches ſich gar nicht recht in Worten will ausdrücken laſſen, und welches mit den gewöhnlichen Anſichten über elektriſche Bindung allerdings nicht in Uebereinſtimmung zu bringen iſt. Dieſe Verſuchsreihen aber bieten mir doch nicht genug Garantie, um darauf hin ein ſo ſonderbares, allen unſeren Vorſtellungen über das Weſen der Bindung ſo ſchnurſtracks widerſprechendes Geſetz anzunehmen.

Wollte man die Knochenhauer'ſchen Verſuche einer ſtrengen Kritik unterwerfen, ſo würde man eine Menge Umſtände herausfinden, welche geeignet ſind, Zweifel gegen die Genauigkeit der Reſultate zu erwecken. Da ich weiter unten nachweiſen werde, wodurch Knochenhauer durchaus falſche Reſultate erhalten mußte, ſo will ich hier die untergeordneten Fehler, welche blos der Genauigkeit Eintrag thun, bis auf folgenden Punkt übergehen.

Bei den meiſten Verſuchen betrug der Durchmeſſer der Kugel M 9 Linien, der Durchmeſſer der Kugel o aber 4'''; wenn nun die Kugeln 3''' von einander abſtanden, ſo darf man doch 3''' gewiß nicht für die Diſtanz der Anziehungsmittelpunkte annehmen. Hier iſt ganz gewiß die Entfernung der beiden Kugeln viel zu klein im Vergleich zu ihren Dimenſionen, als daß es erlaubt wäre, aus ſolchen Verſuchen einen Schluß auf die Abnahme der Bindung bei wachſender Entfernung zu machen. Das Geſetz, daß die elektriſche Anziehung und Abſtoßung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung ſtehe, ſetzt voraus, daß die Entfernung der auf einander wirkenden Körper groß genug ſey, um ohne merklichen Fehler die anziehende oder abſtoßende Wirkung in ihrem Mittelpunkte vereinigt zu denken. Knochenhauer legt ſeiner Betrachtung ſtillſchweigend die Vorausſetzung unter, daß die Kugeln ſo auf einander wirkten, als ob alle Elektricität der Kugel M in ihrem unterſten alle gebundene Elektricität der Kugel O in ihrem oberſten Punkte vereinigt wäre, was ſicherlich nicht zugegeben werden kann.

Knochenhauer verfällt hier in denſelben Fehler, welchen Rieß mit Recht an einer Arbeit von Snow Harris rügt, indem er ſagt: »ſo ſucht z. B. der unermüdliche Experimentator Snow Harris allgemein gültige Zahlenverhältniſſe zwiſchen der Wirkung eines ſtatiſch electriſirten Leiters auf einen neutralen, und der Entfernung der nächſten Fläche der Leiter (Phil. Transact. ſ. 1834). Vor ſolchen Fehlgriffen hätten Coulombs und Priſſons Arbeiten bewahren müſſen.«

Bei den Knochenhauer'ſchen Verſuchen haben Umſtände ſtörend eingewirkt, welche ſeine Reſultate durchaus falſch machten, und welche veranlaßten, daß er die Quantität der gebundenen Electricität bei wachſender Entfernung von dem bindenden Körper viel zu langſam abnehmend fand.

Er ſelbſt führt eine Beobachtungsreihe an, die wohl geeignet geweſen wäre, ihm Mißtrauen gegen ſeine Beobachtungsweiſe zu erregen. Bei etwas ſtarker Ladung der Flaſche fand er nämlich folgende zuſammengehörige Werthe von d und x

d	x
1	40°
2	vollſtändiges Umſchlagen der Nadel
3	43
4	41,5

alſo bei größeren Entfernungen ſtärkere Wirkungen. Dieſe Beobachtungsreihe war freilich nicht zu gebrauchen. Die Umſtände, welche hier für kleine Entfernungen die Wirkung offenbar zu klein machen, und zwar ſo, daß die Unbrauchbarkeit des Verſuchs in die Augen ſpringt, wirken aber auch ſicherlich bei allen anderen Verſuchsreihen, nur nicht in dem Maaße wie bei den zuletzt angeführten, d. h. noch nicht ſo ſtark, daß für größere d ſogar ein ſtärkere Wirkung erfolgt. Sollten die ſtörenden Einflüſſe, die bei einer etwas ſtärkeren Ladung im Extrem auftreten, bei etwas ſchwächeren Ladungen ganz fehlen?

Experimenteller Beweis, daß die Quantität der gebundenen Elektricität ſich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung vom bindenden Körper. Um die Knochenhauer'ſchen Einwendungen definitiv zu widerlegen, habe ich ſelbſt eine Reihe von Verſuchen über das Geſetz angeſtellt, nach welchen die Stärke der Bindung abnimmt, wenn die Entfernung der auf einander bindenden Körper wächſt. 19

Die Beobachtungsmethode war im Weſentlichen dieſelbe, wie die von Knochenhauer angewandte, nur ſubſtituirte ich für die Drehwage ein Strohhalmelektrometer, welches mit einem Gradbogen verſehen war. Zunächſt war zu unterſuchen, in welchem Verhältniß die Zunahme der Ladung mit der Zunahme der Divergenz der Pendel ſteht, um ſpäter aus den Divergenzen auf die Größe der elektriſchen Kräfte ſchließen zu können, welche dieſelben hervorbringen. Dies geſchah auf folgende Weiſe.

Eine große Leidner Flaſche (ſie hatte ungefähr 2□' innere Belegung) wurde mit poſitiver Elektricität geladen: der Knopf dieſer Flaſche konnte als eine ziemlich conſtante Quelle von Elektricität betrachtet werden, von der man leicht immer dieſelbe kleine Quantität nehmen und auf das Electrometer übertragen kann. Dieſe Uebertragung geſchah mittelſt einer Meſſingkugel von ungefähr 3''' Durchmeſſer, die durch einen hinlänglich langen Siegellackſtiel iſolirt war. Es wurde dieſe kleine Kugel mit der Kugel der Leidner Flaſche in Berührung gebracht und dadurch mit einer beſtimmten Menge von Elektricität geladen, die wir mit 1 bezeichnen wollen. Dieſe Quantität 1 wurde nun dadurch auf das Elektrometer übertragen, daß man die Platte deſſelben mit der geladenen Kugel berührte; die Pendel

divergirten und da die Elektricitätsmenge 1 entſprechende Divergenz wurde abgeleſen.

Nun wurde die kleine Kugel abermals mit der Kugel der Flaſche in Berührung gebracht und dieſelbe Elektricitätsmenge abermals auf den Elektrometer übertragen, deſſen Divergenz dadurch eine entſprechende Zunahme erhielt. Auf ſolche Weiſe wurde nun die Ladung des Electrometers ſtets um dieſelbe Elektricitätsmenge vermehrt und ſtets die entſprechende Divergenz des Pendels beobachtet.

Die Steigerung der Ladung wurde bis zu den Quantitäten 7, 8 oder 9 fortgeſetzt, darauf der Elektrometer entladen und dieſelbe Verſuchsreihe wiederholt.

Daß während der ganzen Verſuchszeit die Stärke der elektriſchen Ladung der Flaſche nicht merklich abnahm, geht aus den in der folgenden Tabelle verzeichneten Zahlen hervor, welche die Reſultate von 8 Verſuchsreihen enthält.

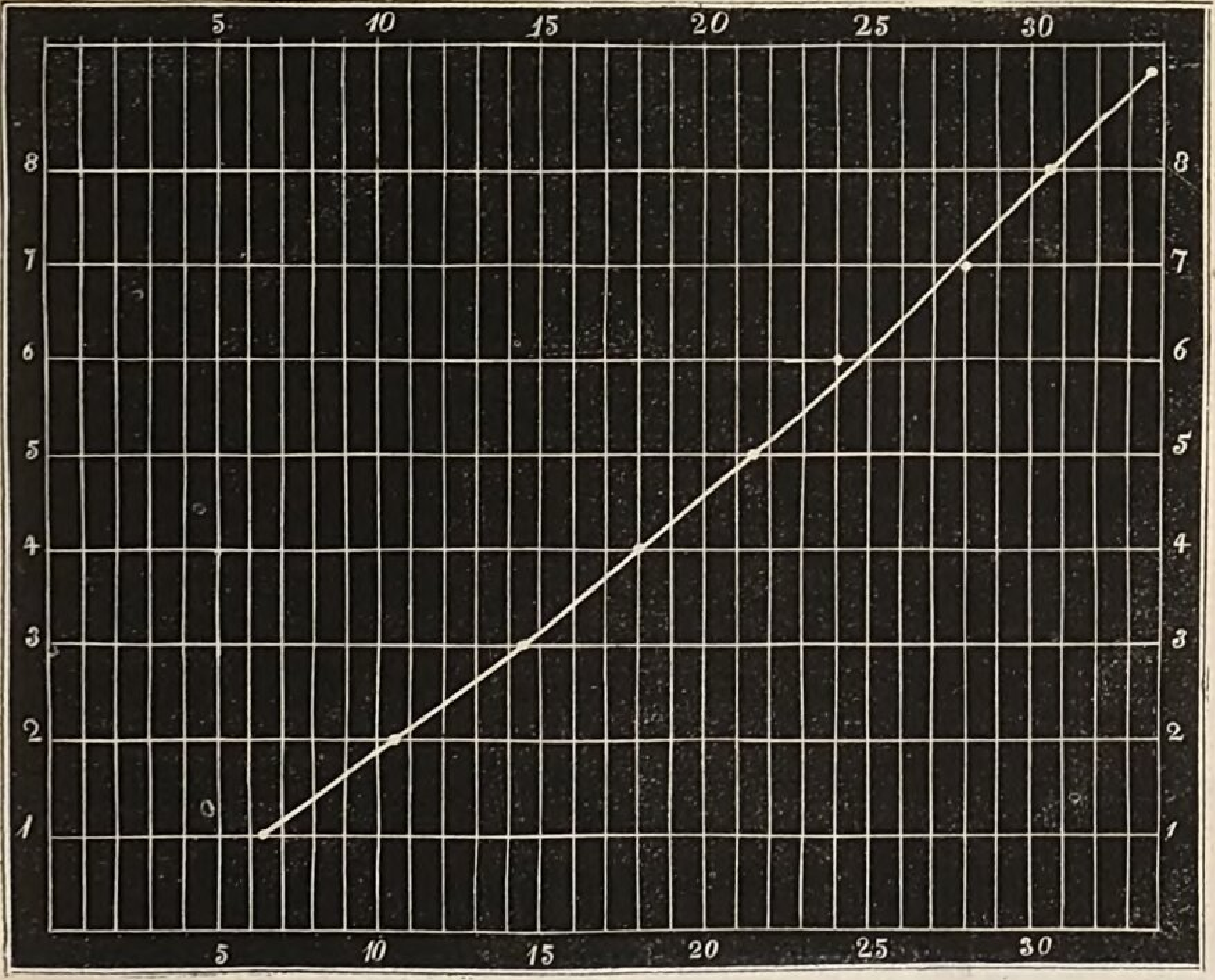
E	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	Mittel
1	6°	7°	7°	7°	7°	6°	5,5°	6°	6,4
2	10	11	11	9	11	10	10	11	10.3
3	15	15	15	15	14.5	16	14	15	14,6
4	18,5	18	19	18	18	19	17,5	19	18
5	22	22	22	21	21,5	22	21,5	22	21,4
6	24,5	25	25	24	24,5	—	23	23	24
7	28	28	28	27	27	—	28,5	28,5	28
8	—	30	32	30	30	—	31,5	31	30,7
9	—	—	—	—	—	—	33,5	34	33.7

Die erſte Vertikalreihe enthält die Elektricitätsmengen, welche auf den Elektrometer übertragen worden ſind, jede der folgenden 8 Vertikalreihen enthält die entſprechenden Divergenzen, wie ſie bei 8 auf einander folgenden Verſuchsreihen gefunden wurden, die letzte Kolumne enthält das Mittel der für jede Elektricitätsmenge gefundenen Divergenzen.

Statt den Zuſammenhang zwiſchen der Elektricitätsmenge, mit welcher der Elektrometer geladen iſt und die Divergenz des Pendels durch complicirte Formeln auszudrücken, habe ich verſucht, ihn durch graphiſche Darſtellung anſchaulich zu machen. In Fig. 30. ſind die Ordinaten der Elektricitätsmengen, die Abſciſſen der Divergenzen proportional, und zwar ſind die ſtark markirten Punkte diejenigen, welche den zu den verſchiedenen, links

an der Figur beigeſchriebenen Elektricitätsmengen gehörigen **mittleren** Divergenzen entſprechen.

Fig. 30.



Dieſe Punkte laſſen ſich in der That, wie es auch in der Figur geſchehen iſt, durch eine ganz regelmäßige Kurve verbinden, welche den Zuſammenhang zwiſchen Elektricitätsmenge und der Divergenz darſtellt, wenn nur die Punkte, welche der Elektricitätsmenge 6 und 7 angehören, etwas neben der Kurve liegen bleiben.

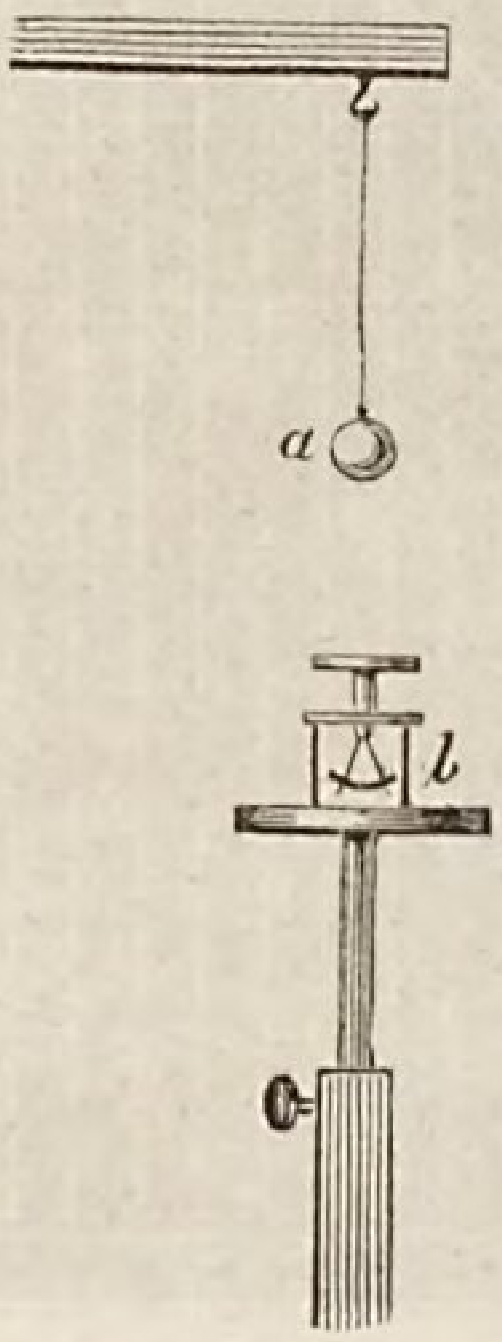
Die Ableſungen, aus welchen dieſe Reſultate gezogen wurden, ſind freilich immer nur bis auf halbe Grade genau gemacht worden; eine größere Genauigkeit in der Ableſung der einzelnen Beobachtung iſt aber auch durchaus nicht nöthig, da die Reſultate durch verſchiedene Urſachen doch um mehr als $\frac{1}{2}$ unſicher werden, und die einzelnen Ableſungen für dieſelbe Elektricitätsmenge manchmal um 2 Grad verſchieden ausgefallen ſind. — **Knochenhauer** giebt bei ſeinen Beobachtungen freilich ſogar einzelne Minuten an, obgleich die Unſicherheit der Beobachtungen auf mehrere Grade geht; wie er an ſeinem ſo kleinen Inſtrumente einzelne Minuten ableſen konnte, wie es z. B. bei der auf Seite 44 angeführten Verſuchsreihe der Fall iſt, läßt ſich ſchwer begreifen; wenn aber auch das Inſtru-

ment eine ſo genaue Ableſung wirklich erlaubt hätte, ſo war ſie doch unnöthig, weil die Einſtellung der Nadel bei weitem nicht bis zu jenem Grade ſicher iſt. Man ſollte bei ſolchen Angaben keine größere Genauigkeit affectiren, als ſie die Umſtände wirklich zulaſſen.

Nachdem das Strohhalm-Elektrometer auf die angegebene Weiſe geprüft war, konnte ich zu den entſcheidenden Verſuchen ſelbſt übergehen, die auf folgende Weiſe angeordnet waren.

An einer ſeidenen, wohl iſolirenden Schnur war eine hohle Meſſingkugel von 2 Zoll Durchmeſſer aufgehängt. Genau unter derſelben ſtand das Elektrometer auf einer Platte, deren Stiel beliebig auf- und abgeſchoben, und in jeder beliebigen Stellung feſtgeſtellt werden konnte. Die Meſſingplatte des Elektrometers hatte 18‴ Durchmeſſer.

Fig. 31.



An dem Stabe, welcher die Platte des Statifs trug, waren drei Striche in einem Abſtande von 3 Zollen angebracht. Wenn der unterſte dieſer Striche gerade an dem oberen Ende des hohlen Fußes einſtand, war die Platte des Elektrometers 3 Zoll von dem Mittelpunkte der Kugel entfernt; dieſe Entfernung betrug 6 Zoll oder 9 Zoll, wenn der zweite oder der oberſte der drei Striche eben ſo einſtand. Nehmen wir 3 Zoll zur Einheit, ſo befand ſich alſo die Elektrometerplatte einmal in der Entfernung 1, dann in der Entfernung 2, endlich in der Entfernung 3.

Als die Platte des Elektrometers in der Entfernung 3 von der Kugel ſtand, wurde nun dieſe Platte ableitend mit dem Finger berührt, und die Kugel *a* dadurch geladen, daß ſie mit der Kugel einer kleinen geladenen Flaſche in Berührung gebracht wurde.

War auf dieſe Weiſe die Kugel geladen, ſo wurde die Flaſche raſch auf Seite geſtellt.

Die Elektricität auf *a* mußte nun eine beſtimmte Quantität entgegengeſetzter *E* auf *b* binden, die alsbald meßbar wurde, wenn man den Finger von *b* zurückzog und ſogleich die Kugel *a* mit der Hand faßte und auf Seite ſchob. — Es ergab ſich eine Ablenkung von 6°.

Nun wurde die Platte des Statifs um 3 Zoll höher geſtellt, ſo daß jetzt die Entfernung zwiſchen *b* und dem Mittelpunkte von *a* gleich 2, alſo 2 × 3 Zoll, war, und der Verſuch auf dieſelbe Weiſe wiederholt, wobei dieſelbe Flaſche mit der nämlichen Ladung angewandt wurde. Es ergab ſich die Divergenz 12°.

Derſelbe Verſuch in der Entfernung 1 wiederholt, gab die Divergenz 30,5°.

Jetzt wurde der Elektrometer der Reihe nach in die Entfernung 2, 3, 2, 1, 2, 3 u. ſ. w. gebracht und immer derſelbe Verſuch angeſtellt. Die Reſultate der Beobachtungen ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt.

											Mittel.
1	30,5	31,5	30	31	30						30,6
2	12	12	12,5	10	12	11	10,5	11,5	11	11,5	11,4
3	6	6	5,5	6	7	6					6,2

Bei gleicher Ladung der Kugel *a* erhielt man alſo im Mittel die Divergenz 30,6° für die Entfernung 1; die Divergenz 11,4° für die Entfernung 2, und endlich die Divergenz 6,2° für die Entfernung 3.

Die gleiche Ladung der Kugel *a* wurde dadurch erhalten, daß ſie immer mit der Kugel derſelben für die ganze Verſuchsreihe ein für allemal geladenen Leidener Flaſche berührt wurde. Allerdings wurde die Ladung der Flaſche bei jeder Berührung mit der Kugel etwas vermindert, doch iſt dieſe Verminderung nach zwanzigmaliger Berührung noch unmerklich, wie man aus obiger Tabelle erſieht.

Sehen wir nun, wie groß die elektriſchen Ladungen ſind, welche an unſerm Elektrometer die Divergenzen 30,6 — 11,4 — und 6,2 geben.

Aus Betrachtung der Fig. 30 ergiebt ſich, daß die Divergenz 30,6 der elektriſchen Quantität 8; die Divergenz 11,4 der elektriſchen Quantität 2,25 und 6,2 der Quantität 0,95 entſpricht. Die Quantität der Elektricität, welche die Kugel *a* auf *b* bindet, iſt alſo

für die Entfernung 1 gleich 8
» » » 2 » 2,25
» » » 3 » 0,95

Die Zahlen 0,95 — 2,25 und 8 verhalten ſich in der That ſehr nahe wie 1, — 4 und 9, alſo umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Nur für die Entfernung 1 iſt die abgeleſene Divergenz etwas zu klein, was ſich aber leicht erklären läßt; bei ſo ſtarker Ladung des Elektrometers, welche eine Divergenz von 30 in mehreren Graden hervorbringt, ſinken die Pendel wegen des ſtärkeren Verluſtes raſcher zuſammen, bis man alſo zum Ableſen kommt, hat ſich die urſprüngliche Divergenz ſchon etwas vermindert.

Eine ähnliche Verſuchsreihe, wobei bloß zwiſchen der einfachen und doppelten Entfernung gewechſelt wurde (als Einheit der Entfernung war hierbei 4″ genommen worden), gab folgende Reſultate:

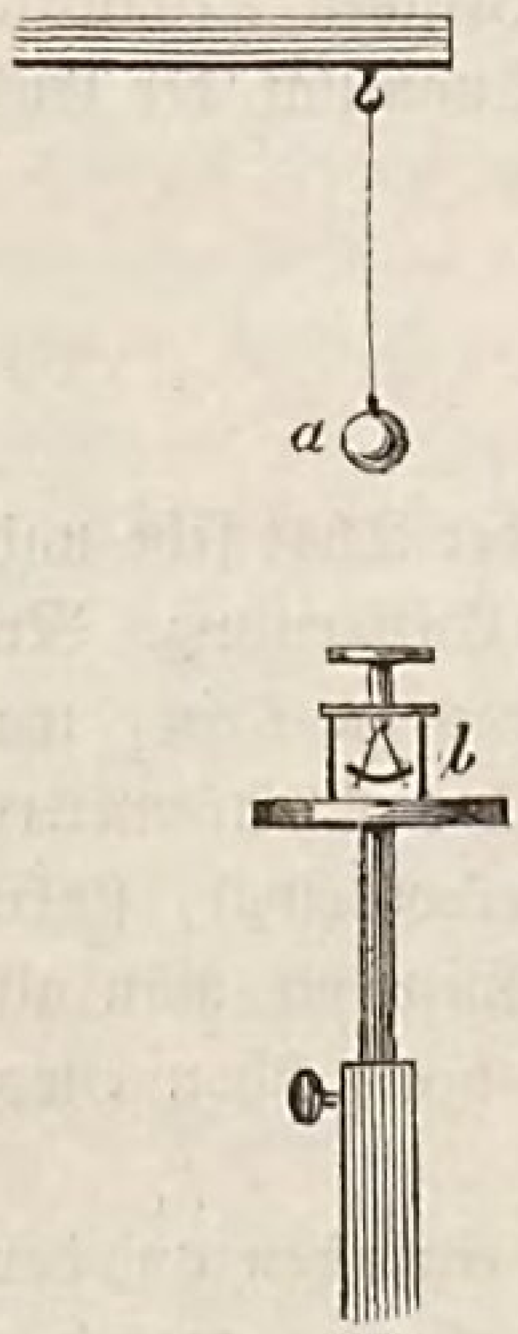
					Mittel.
1	26	24	24,5	24	24,6
2	9	9	8,5	9	8,87

Die Divergenzen 24,6 und 8,87 entſprechen den Elektricitätsmengen 6 und 1,6, die ſich ebenfalls ſehr nahe verhalten, wie 4 zu 1; alſo auch hier für die doppelte Entfernung eine viermal geringere Menge der gebundenen Elektricität.

Ich ſollte denken, daß dieſe Verſuche genügen, um den Satz außer Zweifel zu ſetzen, daß die Menge der Elektricität, welche auf einem nicht iſolirten Leiter durch einen benachbarten iſolirten und elektriſch geladenen gebunden wird, ſich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung der beiden Leiter, vorausgeſetzt, daß die Dimenſionen derſelben und ihre Entfernung von der Art ſind, daß man die elektriſchen Kräfte ohne bedeutende Fehler als in ihrem Schwerpunkte concentrirt annehmen kann.

Bei den Knochenhauer'ſchen Verſuchen war die Entfernung zwiſchen dem bindenden Körper und demjenigen, auf welchen die entgegengeſetzte Elektricität gebunden wird, viel kleiner, als bei meinen Verſuchen; bei ihm war die kleinſte Entfernung 3 Linien, bei mir 3 Zoll. — Dies brachte mich auf den Gedanken, es möchte wohl bei Knochenhauer's Verſuchen Elektricität übergegangen ſeyn. Um zu unterſuchen, ob dies wirklich der Fall geweſen ſeyn konnte, machte ich die Entfernung zwiſchen der Kugel *a* und der Elektrometerplatte im Lichten 3''' und ließ dann den Elektrometer ſo weit herunter, daß die Entfernung der Platte von dem Mittelpunkte der Kugel doppelt ſo groß wurde, als bei der erſten Stellung. Auch hier ergab ſich in der doppelten Entfernung eine ungefähr viermal kleinere Wirkung, hier war alſo keine Elektricität von der Kugel zur Platte übergegangen.

Fig. 32.



Die Kugel war aber ziemlich groß, die Platte ein Stück einer unendlich großen Kugel; die Kugel *a* war überdies noch gefirnißt, lauter Umſtände, die dem Uebergange der Elektricität weit weniger günſtig waren, als bei Knochenhauer.

Ich vertauſchte nun die Kugel *a* mit einer andern nicht gefirnißten, die nur 8''' Durchmeſſer hatte; die Platte des Elektrometers wurde abgeſchraubt und durch eine Kugel von ungefähr 4 Linien Durchmeſſer erſetzt.

Als die Entfernung zwiſchen beiden Kugeln 12 Linien (alſo die Entfernung des Mittelpunktes 18 Linien) betrug, erhielt ich bei Wiederholung des Verſuchs in oben angegebener Weiſe, bei einer Ladung, die natürlich bedeutend ſchwächer ſeyn mußte, als bei den frühern Verſuchen, eine Divergenz von 8 bis 10 Grad; als aber der Elektrometer ſo weit genähert wurde, daß die Entfernung im Lichten nur noch 3''' Linien betrug, die Entfernung des Mittelpunktes alſo nur halb ſo groß war als bei der erſten Stellung, ergab ſich bei gleicher Ladung der kleinen Kugel *a* nicht etwa eine nahezu viermal ſtärkere Divergenz der Pendel, ſondern ebenfalls nur eine Divergenz von 10°.

Hier war nun offenbar Elektricität zwiſchen den Kugeln übergegangen und dadurch die Ladung der oberen Kugel ſowohl als auch die Menge der gebundenen Elektricität auf die untere bedeutend vermindert worden.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß gerade dieſer Umſtand auch bei den Knochenhauer'ſchen Verſuchen ſtörend wirkte und ſeine Reſultate durchaus unbrauchbar machte.

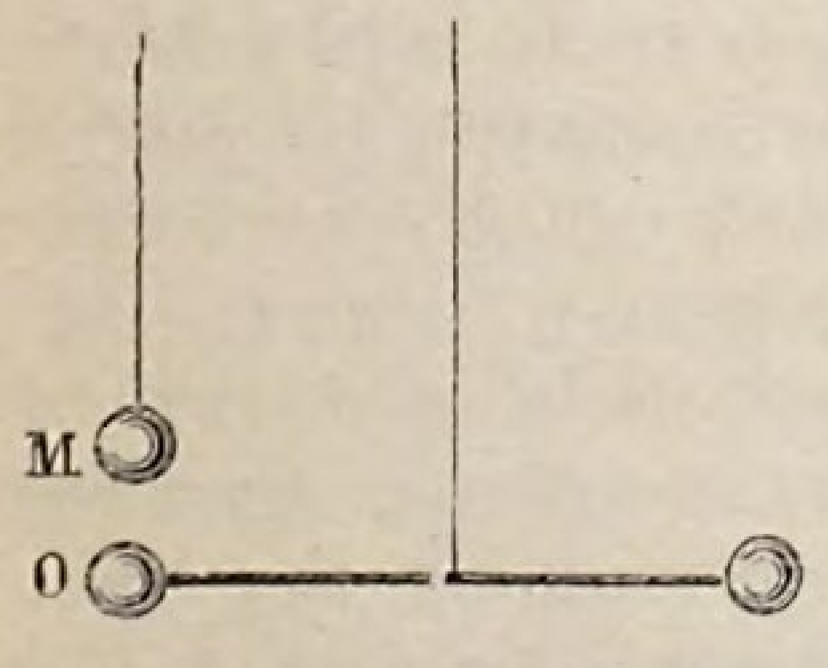
Knochenhauer's weitere Verſuche über gebundene Elektrici- 20
tät. Nach dieſer Beleuchtung der Knochenhauer'ſchen Geſetze über die Quantität der gebundenen Elektricität wird es wohl erlaubt ſeyn, über den Reſt der erwähnten Abhandlung nur ganz kurz zu referiren; Knochenhauer führt im Verlaufe derſelben noch folgende Sätze als Reſultate ſeiner Verſuche an.

1) Wenn bei unveränderter Entfernung eines iſolirten geladenen Leiters *a* und eines nicht geladenen *b*, die Ladung von *a* zwei-, drei-, viermal ſo groß wird, ſo wird die auf *b* gebundene Elektricität ebenfalls zwei-, drei-, viermal ſo groß ſeyn.

Gegen dies Reſultat, welches ſich wohl von ſelbſt verſteht, iſt nichts einzuwenden.

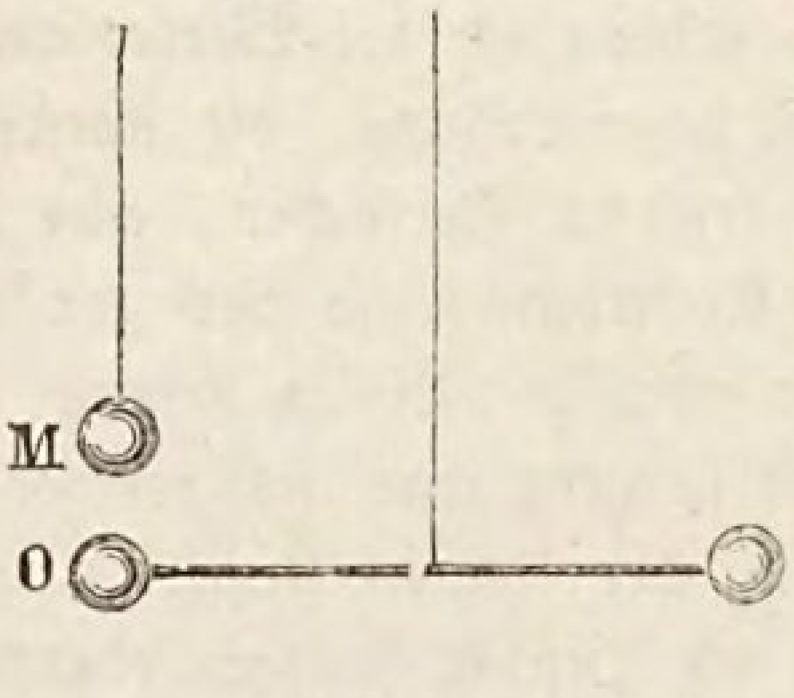
2) In Beziehung auf die Anziehung einer Kugel mit gebundener Elektricität in verſchiedener Entfernung kommt Knochenhauer zu folgendem Reſultat.

Fig. 33.



Wenn *M* eine mit der Innenſeite der Batterie verbundene Metallkugel iſt, wenn ferner die Kugel *O*, welche das eine Ende eines an einem iſolirenden Faden hängenden Metallſtäbchens bildet, vertikal unter *M* hängt, ſo wird in *O* Elektricität gebunden, wenn die Batterie alſo auch *M* geladen wird. Iſt das Metallſtäbchen mit dem Boden oder der äußeren Belegung der Flaſche in leitender Verbindung, ſo wird die Elektricität auf *O* bei

Fig. 34.



ſteigender Ladung von M endlich ſo zu nehmen, daß O gehoben wird, wozu ſtets eine beſtimmte Größe der anziehenden Kraft zwiſchen M und O nöthig iſt. Wenn nun bei einer beſtimmten Entfernung zwiſchen M und O eine beſtimmte Ladung nöthig iſt, um die Hebung von O zu bewerkſtelligen, ſo ſoll bei doppelter, dreifacher, vierfacher Entfernung zwiſchen M und O auch eine zwei-, drei-, viermal ſo große Ladung von M nöthig ſeyn, um denſelben Effect zu erhalten, oder mit andern Worten: Wenn die Stärke der Anziehung zwiſchen M und O unverändert bleiben ſoll, ſo muß die Ladung von M in demſelben Maaße wachſen, wie die Entfernung zwiſchen M und O.

Dieſer Satz iſt eben ſo unwahrſcheinlich, und möchte wohl auf eben ſo ſchwachen Füßen ſtehen, wie das Geſetz über die Quantität der gebundenen Elektricität, ich halte deshalb eine detaillirtere Beſprechung für unnöthig.

3) In der Formel

$$J = N \cdot b^{\sqrt{d}},$$

welche die Quantität der gebundenen Elektricität ausdrücken ſoll, nennt Knochenhauer den Factor b, welcher zur Potenz $\sqrt{d}$ erhoben werden ſoll, den Bindeexponenten, und findet, daß dieſer Bindeexponent unverändert bleibt, mag nun zwiſchen M und O ein lufterfüllter oder ein luftleerer Raum ſeyn.

4) Wenn zwiſchen den Kugeln M und O ein verdünnter Raum iſt, ſo ſchlagen die Funken ſchon bei geringerer Ladung über. Die folgende Tabelle zeigt, bei welchen Ladungen der Batterie (ausgedrückt in Funken der Lane'ſflaſche) ein Ueberſchlagen des Funkens ſtattfand, wenn die Luft zwiſchen den Kugeln allmälig verdünnt wurde.

B	J
27,4	41,85
24,4	37,75
21,4	33,45
18,4	29,05
15,4	25,10
12,4	20,80
9,4	16,60
6,4	12,20
3,4	8,05
1,9	5,20

Um die Luft zwiſchen den Kugeln verdünnen zu können, befanden ſie ſich natürlich im Innern eines Glasgefäßes, welches man evacuiren konnte. Die erſte Columne unter B enthält die Spannkraft der Luft, gemeſſen durch eine Queckſilberſäule.

Die Zahlen dieſer Tabelle harmoniren recht gut mit der Formel

$$J = y\,(x + B),$$

wo x und y zwei conſtante ſind (ſonſt pflegt man mit x und y die variabeln Größen und nicht die conſtanten Factoren zu bezeichnen), wenn man $x = 2{,}41$ und $y = 1{,}406$ ſetzt.

Ein ſolches Geſetz wäre nun ſeiner Einfachheit wegen ganz annehmbar, ſpätere Verſuchsreihen harmoniren aber nach Knochenhauer's Anſicht nicht ſo gut (obgleich die beobachteten und berechneten Werthe von J nie um ein Ganzes differiren, und die beobachteten Bruchtheile der Elektricitätsmengen, gemeſſen durch Funken der Lane'flaſche, doch nicht ſehr zuverläſſig ſeyn können), ſo daß er ſich veranlaßt ſieht, eine neue Formel mit drei conſtanten

$$J = \frac{y\,(x + B)}{1 + Bz}\,Jn$$

zu conſtruiren, in welchen Jn die Ladung bezeichnet, welche nöthig iſt, um bei 28″ Barometerſtand überzuſchlagen und die ſich den Beobachtungen beſſer anſchließen ſoll.

5) Wenn in einem elektriſchen Luftthermometer, ähnlich dem Rieß'ſchen, kein Draht ausgeſpannt iſt, ſondern wenn in demſelben zwei Kugeln auf eine beſtimmte Diſtanz einander gegenüberſtehen, ſo wird, wenn ein Funken zwiſchen dieſen Kugeln überſchlägt, eine Depreſſion der Flüſſigkeit in der Röhre des Thermometers erfolgen, welche Knochenhauer als ein Maaß für die Quantität der durch die Funken verdrängten Luft anſieht und welche Quantität ſeinen Verſuchen zufolge ſich durch die Formel

$$x = A\,\frac{q^2}{s}$$

ausdrücken laſſen ſoll, in welchem q und s dieſelbe Bedeutung haben, die wir ſpäter bei Beſprechung der Arbeiten von Rieß werden kennen lernen, A aber einen conſtanten Factor bezeichnet.

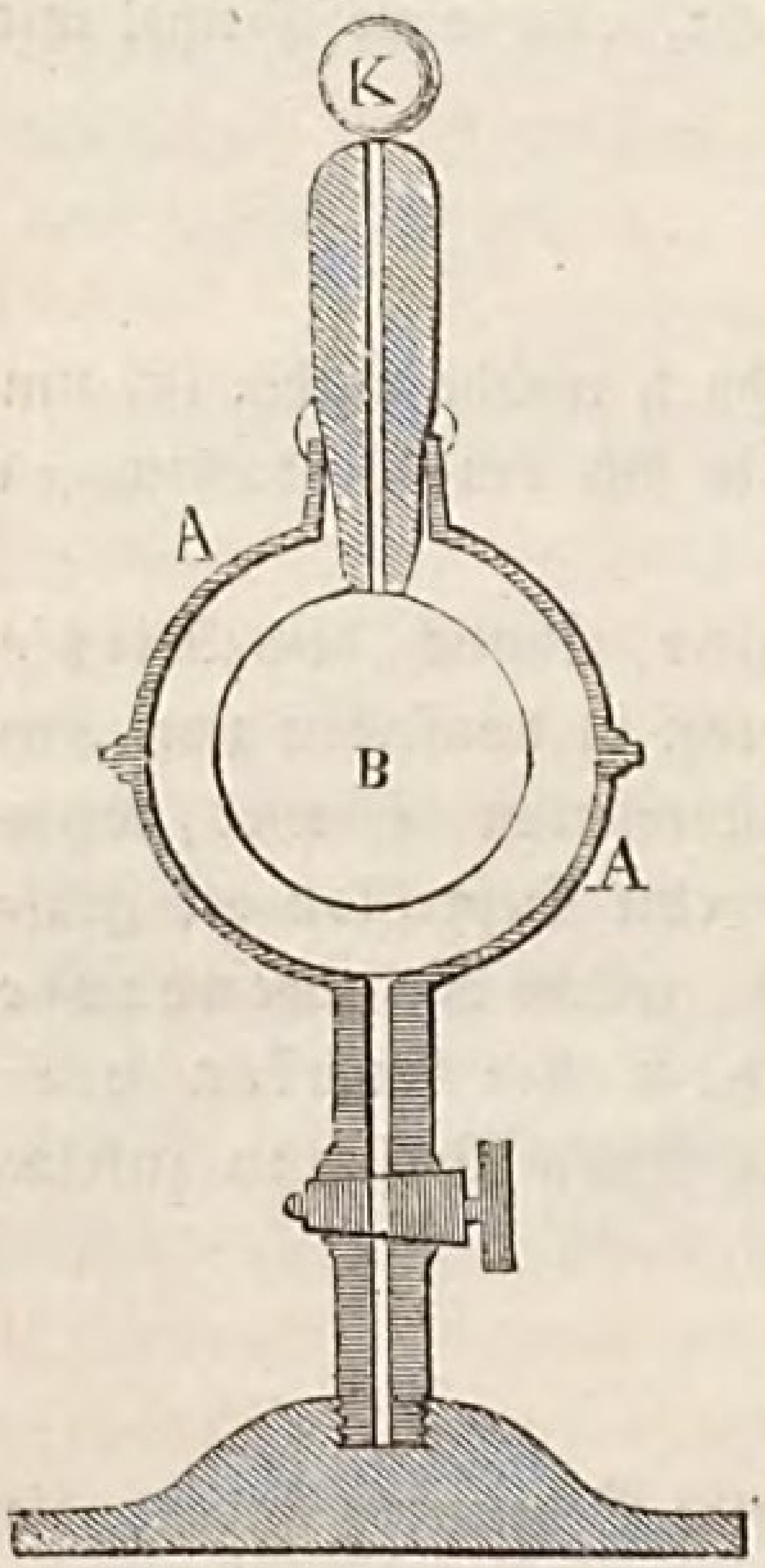
Faraday's Unterſuchungen über gebundene Elektricität. 21
Auch Faraday hat die Bindung und Vertheilung der Elektricität zum Gegenſtande ſeiner Unterſuchungen gemacht. In ſeiner elften Reihe von Experimental-Unterſuchungen über Elektricität (P. A. XLVI. 1) ſucht er nachzuweiſen, daß die Vertheilung nicht die Folge einer elektriſchen Wirkung in die Ferne ſey, ſondern von dem bindenden Körper

aus durch Vermittlung der zwiſchenliegenden materiellen Theilchen bewerkſtelligt werde.

Um zu beweiſen, daß die Vertheilung das Reſultat einer von Theilchen zu Theilchen des trennenden Iſolators fortſchreitende Wirkung ſey, ſucht Faraday darzuthun: 1) daß bei gleicher Entfernung des vertheilenden Körpers und desjenigen, auf welchem durch Vertheilung Elektricität erregt und gebunden iſt, die Stärke der Vertheilung und Bindung noch von der Natur des trennenden Iſolators abhängig ſey, daß durch verſchiedene Iſolatoren hindurch die Bindung unter ſonſt gleichen Umſtänden nicht gleich ſey, daß alſo jedem Iſolator ein eigenthümliches, ſpecifiſches Vertheilungsvermögen zukomme; 2) daß die Vertheilung auch nach krummen Linien ſtattfinden könne.

22 **Specifiſches Vertheilungsvermögen.** Betrachten wir zunächſt das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen der Iſolatoren.

Fig. 35.



In Fig. 35 ſtelle *A* eine metallene Hohlkugel dar, die auf einem metallenen Fuße ſteht. In einer oben angebrachten Oeffnung ſteckt dicht ſchließend ein Schellackcylinder, durch deſſen Mitte ein Draht geht, der oben die kleine Metallkugel *K*, unten die Metallkugel *B* trägt. Der Durchmeſſer der Kugel *A* iſt ungefähr 8,5 Centimeter, der der Kugel *B* iſt 6 Centimeter. — Die Kugel *A* beſteht aus zwei, den Magdeburger Halbkugeln ganz ähnlichen Stücken, ſo daß man die obere Hälfte ſammt dem Schellackcylinder und den Kugeln *K* und *B* abheben kann.

Faraday brauchte zu ſeinen Verſuchen zwei ganz gleiche Apparate der Art, die er Vertheilungsapparate nennt.

Man kann einen ſolchen Vertheilungsapparat laden, wie man eine Leidener Flaſche ladet, wenn man *K* mit einer Elektricitätsquelle, *A* aber mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzt. *B* repräſentirt alsdann die innere Belegung, *A* die äußere, die Luftſchicht zwiſchen beiden erſetzt die Glasbelegung.

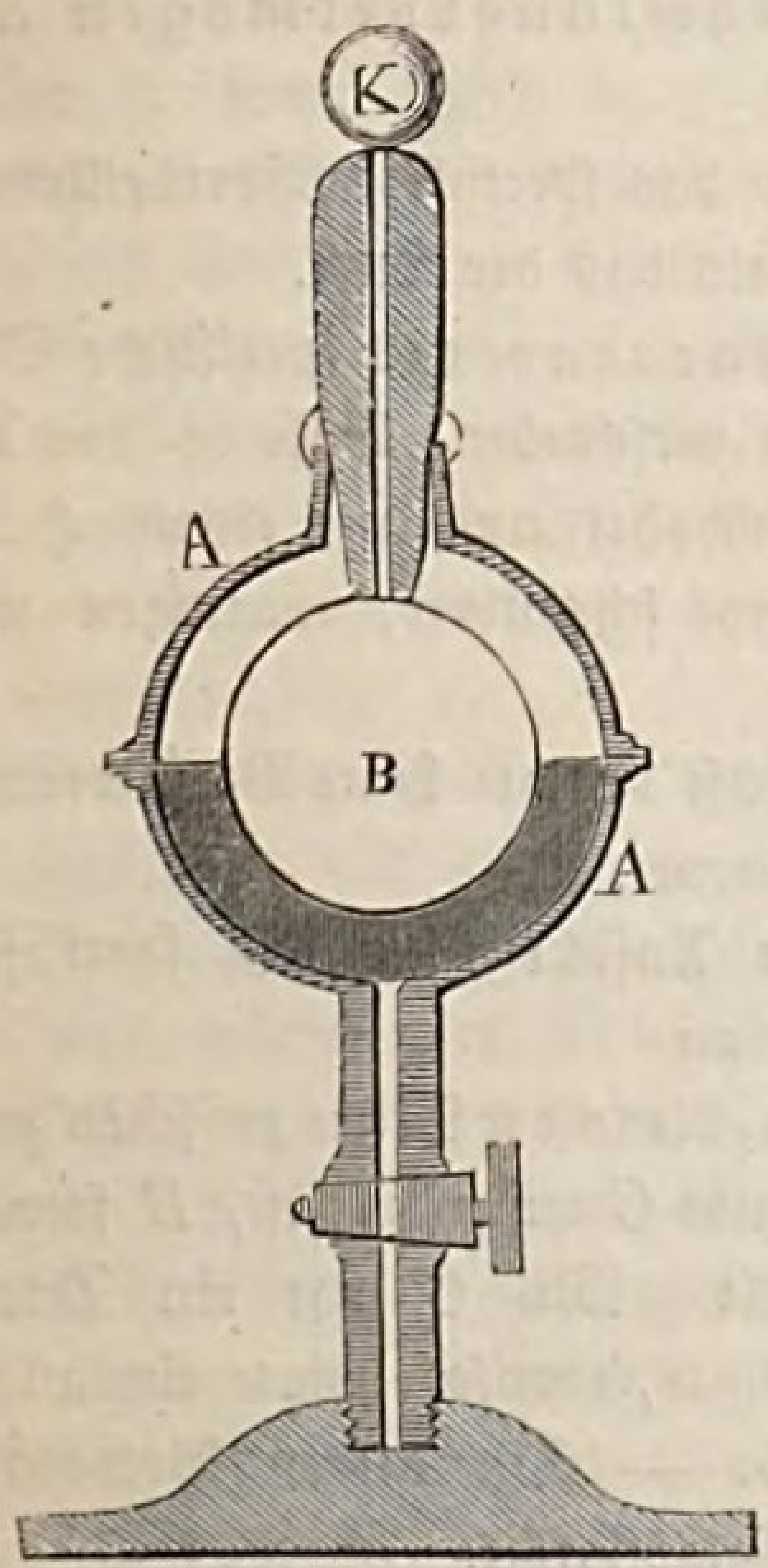
Ein ſolcher Vertheilungsapparat, den ich mit I bezeichnen will, wurde dadurch geladen, daß man *K* mit der Kugel einer geladenen Leidener Flaſche berührt, während *A* gut abgeleitet war. Begreiflicherweiſe mußte, wie dies ja auch bei der inneren Belegung einer Leidener Flaſche der Fall iſt, auf *B* und *K* ein Ueberſchuß freier Elektricität ſeyn, deſſen Stärke an

einer Coulomb'ſchen Drehwage gemeſſen wurde. Um die Mittelpunkte der beiden Kugeln der Drehwage in einem Winkelabſtande von 30° zu erhalten, war eine Torſion des Fadens von 250° nöthig.

Nun wurde mit dem Knopfe *K* des Vertheilungsapparates I der Knopf *K* eines ganz gleichen Vertheilungsapparates II berührt, während deſſen äußere Kugel gut abgeleitet war. Die Ladung, welche vorher dem Apparate I allein mitgetheilt war, wurde auf dieſe Weiſe zwiſchen den beiden Vertheilungsapparaten getheilt. — Nach dieſer Theilung wurde die Stärke der freien Elektricität der inneren Belegung für jeden der beiden Vertheilungsapparate gemeſſen; der erſteren entſprach eine Torſion von 124°, der andern eine Torſion von 122° an der Drehwage, um die Kugeln, wie immer, auf einem Winkelabſtande von 30° zu erhalten; nach der Theilung war alſo die freie Elektricität auf der innern Belegung ſehr nahe gleich, und zwar, wie vorauszuſehen war, halb ſo groß, als auf I vor der Theilung, es hat ſich alſo die Ladung auf die beiden Vertheilungsapparate ganz gleich vertheilt.

Nun wurde in dem Apparate II die Hälfte der Luft durch ein anderes di=elektriſches Mittel (ſo nennt nämlich Faraday diejenigen Mittel, durch welche hindurch eine elektriſche Vertheilung ſtattfindet) erſetzt. Zunächſt wurde Schellack verſucht. Die obere Hälfte des Apparates II wurde abgehoben, in die untere Hälfte der Kugel *A* eine halbkugelförmige Schale von Schellack eingelegt, und nun die obere Hälfte des Apparates wieder aufgeſetzt, ſo daß der Zwiſchenraum zwiſchen der unteren Hälfte beider Kugeln durch Schellack ausgefüllt war, wie dies Fig. 36 angedeutet iſt.

Fig. 36.



Der Apparat I, welcher unverändert, wie beim vorigen Verſuch blieb, wurde ganz in der früheren Weiſe geladen, und die freie Elektricität der innern Belegung an der Torſionswage gemeſſen. Auf dieſe Weiſe gab

der Apparat I . . . . . . 290°

nun wurde die Ladung zwiſchen dem Apparate I und II getheilt, nach der Theilung gab

der Apparat I . . . . . . 114°
der Apparat II . . . . . 113°

Auch hier iſt die freie Elektricität der innern Belegung beider Apparate

nach der Theilung ſehr nahe gleich, allein ſie iſt weit geringer als die Hälfte der freien Elektricität der inneren Belegung des Apparates I vor der Theilung; daraus geht nun hervor, daß der Apparat II mehr als die Hälfte der Elektricität des Apparates I aufgenommen hat, ohne daß deshalb die freie Elektricität auf II größer wäre als auf I, und daraus ſchließt Faraday, daß durch Schellack hindurch eine kräftigere Bindung ſtattfinde.

Bezeichnen wir die Menge der freien Elektricität der inneren Belegung von I vor der Theilung mit 290, ſo iſt die Geſammtmenge der hier vorhandenen Elektricität $n.290$; nach der Theilung bleibt nur noch $n.114$; es iſt alſo $n(290 - 114) = n.176$ an den Apparat II abgegeben worden. Hier aber findet nun nach Faraday's Anſicht ein anderes Verhältniß zwiſchen der gebundenen und freien Elektricität Statt; die freie Elektricität iſt 113, die gebundene $n'113$, wir haben alſo

$$n'113 = n.176$$

alſo

$$n' = n.\frac{176}{163} = n.1{,}55;$$

durch Schellack hindurch findet alſo eine 1,55mal ſtärkere Bindung Statt als durch Luft, oder wie Faraday ſich ausdrückt: Schellack hat ein 1,55mal größeres ſpecifiſches Vertheilungsvermögen als Luft.

Durch ähnliche Verſuche fand Faraday das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen des Schwefels 2,24 mal ſo groß als das der Luft.

Für die verſchiedenartigſten Gaſe fand Faraday das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen gleich dem der Luft. Um verſchiedene Gaſe in den Apparat bringen zu können, war der Fuß durchbohrt und mit einem Hahn verſehen; man konnte ihn auf eine Luftpumpe ſchrauben, evacuiren und dann ein anderes Gas einlaſſen.

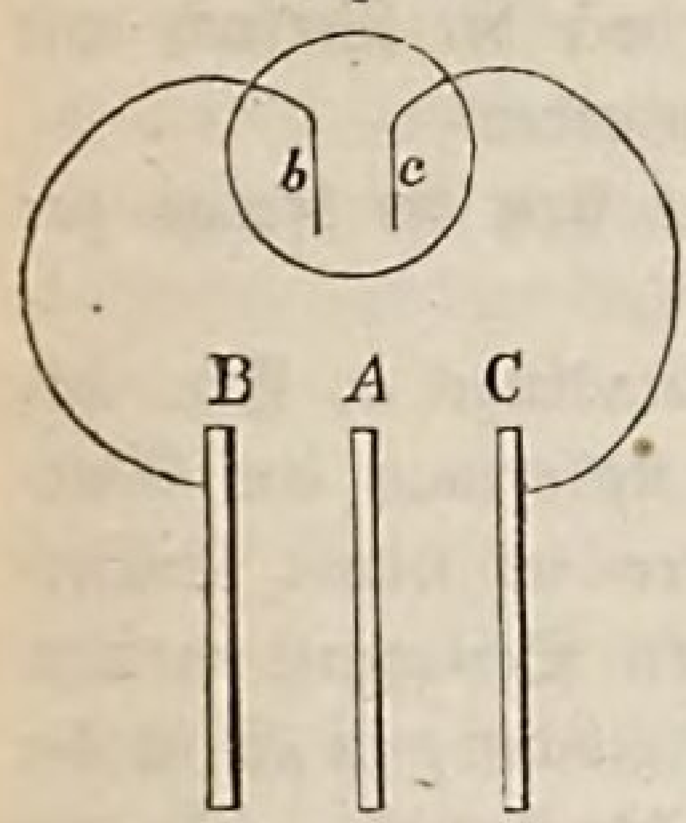
Auch Verdünnung und Erwärmung der Luft brachte keine Veränderung in ihrem ſpecifiſchen Vertheilungsvermögen hervor.

Faraday führt zur Begründung ſeiner Anſicht über das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen noch weitere Verſuche an.

Es ſey A, Fig. 37, eine iſolirte Metallſcheibe, die in der Mitte zwiſchen zwei anderen gleichfalls iſolirten Metallſcheiben B und C aufgeſtellt iſt, B ſowohl als C wurden $^5/_4$ Zoll weit von A aufgeſtellt. Mit C war ein Draht verbunden, der mit dem Goldblättchen c endigte, ebenſo endigte ein an B befeſtigter Draht mit einem Goldblättchen b. — Die beiden Goldblättchen hingen 2″ weit von einander in einer Glasflaſche.

Es wurden jetzt B und C ableitend berührt, und der Platte A eine ſchwache poſitive Ladung ertheilt, wodurch B und C mit $-E$ geladen

Fig. 37.



wurden. — Die Verbindung von B und C mit dem Boden wurde aufgehoben, ſo daß jetzt dieſe beiden Platten wieder iſolirt waren, wobei die Goldblättchen b und c nach wie vor parallel neben einander hängen blieben.

Nun wurde eine Schellackplatte von $\frac{3}{4}$ Zoll Dicke in 4 Quadratzoll Größe an einem ſaubern Faden weißer Seide hängend, nachdem ſie ſorgfältig von jeder Ladung befreit worden war, zwiſchen die Platten A und B gebracht. Sogleich wurde das elektriſche Verhalten der drei Platten geſtört und eine Anziehung zwiſchen den Goldblättern hervorgerufen. Bei Fortnahme des Schellacks verſchwand dieſe Anziehung wieder. Der Schellack mit einem empfindlichen Coulomb'ſchen Elektrometer unterſucht, zeigte ſich auch jetzt noch ohne Ladung.

Darin findet nun Faraday wieder eine Beſtätigung ſeiner Anſicht, er erklärt den Hergang folgendermaßen: Sobald die Schellackplatte zwiſchen A und B eingeſchoben wird, findet auf B eine ſtärkere Ladung negativer Elektricität Statt, es wird mehr poſitive zurückgeſtoßen, die ſich nach b verbreitet; weil aber A ſtärker gegen B wirkt als vorher, ſo muß auch negative Elektricität in C frei werden, c wird alſo freie $-E$ enthalten, während auf b freie $+E$ iſt, daher die Anziehung der Blättchen. Wie Faraday geprüft hat, daß auf b und c wirklich diejenige Elektricität frei wird, wie es ſeiner Theorie zufolge ſeyn muß, findet ſich in ſeiner Abhandlung nicht angegeben.

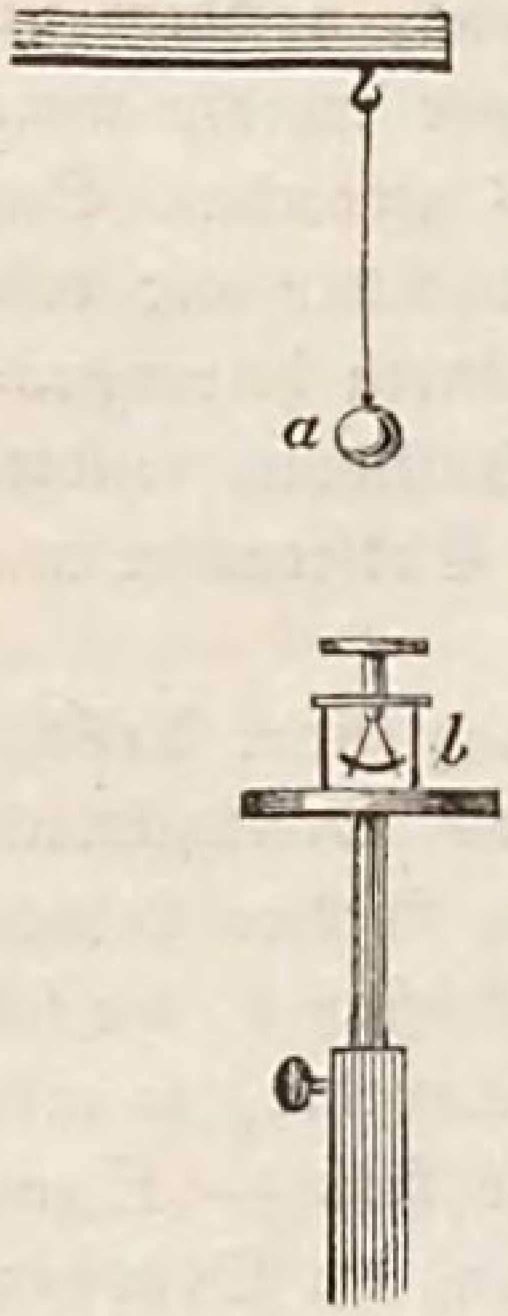
Die Faraday'ſchen Verſuche ſind vollkommen richtig, aber es ſcheint mir, als habe er dieſe Verſuche falſch gedeutet und Schlüſſe aus ihnen gezogen, zu denen er nicht berechtigt war. — Hier die Gründe für meine Behauptung:

Wenn einem iſolirten elektriſchen Körper A ein zweiter Leiter B gegenüberſteht, der mit dem Boden in leitender Verbindung iſt, ſo wird auf B eine beſtimmte Menge Elektricität gebunden. Auf A iſt dann ein Theil der hier befindlichen E durch die entgegengeſetzte auf B gebunden, ein Theil iſt frei. Wird nun Schellack zwiſchen A und B gebracht, ſo iſt nun auf A mehr Elektricität gebunden und weniger frei als vorher; dies iſt die Thatſache, welche aus den Verſuchen Faraday's mit dem Vertheilungsapparat hervorgeht. Er ſchließt aber weiter und ſagt: durch den Schellack hindurch findet eine ſtärkerr Vertheilung Statt, und dieſe Behauptung hat er durch keinen Verſuch bewieſen; hätte er dieſe Behauptung rechtfertigen wollen, ſo hätte er zeigen müſſen, daß auf B bei gleicher Ladung von A mehr E gebunden wird, wenn Schellack ſich zwiſchen bei-

den befindet, als wenn Luft der ſie trennende Iſolator iſt. Der in Fig. 37 angedeutete Verſuch iſt eben ſo wenig geeignet wie der Verſuch mit dem Vertheilungsapparat, um hierüber Aufſchluß zu geben.

Der folgende Verſuch dürfte aber wohl geeignet ſeyn die Frage zur Entſcheidung zu bringen.

Fig. 38.



Unter einer iſolirt aufgehängten elektriſirten Metallkugel a, Fig. 38, von 1 bis 2 Zoll Durchmeſſer, ſtelle man ein Goldblatt- oder Strohhalmelektrometer in ſolcher Entfernung auf, daß man eine namhafte Divergenz enthält. — Die Kugel a ſey mit $+E$ geladen, ſo iſt in der Platte des Elektrometers b $-E$ gebunden, die von a abgeſtoßene $+E$ iſt in die Pendel getrieben, daher ihre Divergenz.

Nun ſchiebe man eine Schellackplatte zwiſchen a und b ein.

Iſt Faraday's Anſicht richtig, ſo muß durch den Schellack hindurch eine ſtärkere Bindung ſtattfinden als vorher; in der Elektrometerplatte muß noch $-E$ gebunden werden, es muß alſo auch mehr $+E$ in die Pendel getrieben werden, die Divergenz derſelben muß alſo wachſen.

Der Verſuch zeigt aber, daß die Divergenz der Pendel abnimmt, ſobald man die Schellackplatte einſchiebt.

Durch den Schellack hindurch findet alſo entſchieden keine ſtärkere Bindung Statt als durch Luft.

Wenn von der auf a befindlichen Elektricität nach dem Einſchieben der Schellackplatten ein größerer Theil gebunden iſt als vorher, ſo rührt dies alſo offenbar nur von einer gegenſeitigen Wirkung zwiſchen a und der Schellackplatte, keineswegs aber daher, daß durch Schellack eine ſtärkere Vertheilung ſtattfindet.

Einen dieſem ähnlichen Verſuch hat ſchon Knochenhauer angeſtellt, er hat aber die Bedeutung deſſelben durchaus nicht richtig erkannt.

Statt des Elektrometers mit zwei Pendeln wandte Knochenhauer ein Säulenelektrometer an (P. A. LI, 126). Während dem Leiter a (bei Knochenhauer's Verſuchen eine Metallplatte ſtatt einer Kugel, was aber für den Erfolg ganz gleichgültig iſt) eine ſchwache poſitive Ladung ertheilt wurde, war die Platte des Säulenelektrometers ableitend berührt; in dieſer Platte war alſo $-E$ gebunden. Schob er nun eine Schellackplatte zwiſchen die Elektrometerplatte und den elektriſchen Leiter a ein, ſo erhielt er einen Ausſchlag des Goldblatts, und zwar behauptet er: »daß unmittelbar mit dem Einſchieben (der Schellackplatte) das Goldblättchen des Elektrometers frei poſitive Elektricität anzeigte, ſo daß alſo

jetzt auf der unteren Scheibe mehr negative gebunden war;« dies wäre freilich ganz mit Faraday's Anſicht übereinſtimmend. Allein dies Reſultat ſteht mit dem von mir angeſtellten Verſuche mit dem Strohhalmelektrometer im directen Widerſpruch. Nach meinem Verſuche mußte ich erwarten, daß der Ausſchlag freie negative Elektricität des Goldblättchens zeigte.

Es war zu vermuthen, daß ſich Knochenhauer in Beziehung auf die Pole ſeines Goldblattelektrometers geirrt hat, daß er einen negativen mit einem poſitiven Ausſchlag verwechſelte.

Um darüber in's Reine zu kommen, wiederholte ich Knochenhauer's Verſuche. Die Kugel a wurde mit $+E$ geladen, und als eine Schellackplatte zwiſchen a und dem Elektrometer eingeſchoben wurde, bewegte ſich das Goldblättchen nach dem poſitiven Pol der Säule, d. h. nach demſelben, nach welchen es ausſchlägt, wenn man von Oben eine geriebene Harzſtange nähert, das Goldblättchen erhielt alſo durch das Einſchieben der Schellackplatte freie $-E$.

Wäre Knochenhauer's Behauptung die richtige, ſo müßte das Goldblättchen beim Einſchieben der Schellackplatte (während a poſitiv iſt) nach derſelben Seite ausſchlagen, nach welcher es ausſchlägt, wenn man dem Elektrometer von Oben eine mit Seide geriebene Glasſtange nähert. Das Nähern der geriebenen Glasſtange brachte aber einen Ausſchlag hervor, welcher dem entgegengeſetzt war, der das Einſchieben der Schellackplatte bewirkte. Somit iſt Knochenhauer's Irrthum in Beziehung auf die Natur des Ausſchlages dargethan.

Faraday's Anſicht, daß durch Schellack hindurch eine ſtärkere Bindung ſtattfinde als durch Luft, iſt demnach entſchieden unrichtig. Die angeführten Verſuche mit dem Strohhalmelektrometer ſowohl als mit dem Säulenelektrometer widerſprechen ihm direct.

Wie aber ſind alle die angeführten Erſcheinungen zu erklären? Ich erlaube mir darüber nur einige Andeutungen, welche vielleicht geeignet ſeyn dürften den Weg anzudeuten, welchen man einſchlagen muß, um die Frage zur definitiven Entſcheidung zu bringen.

Schiebt man zwiſchen der elektriſirten Kugel a, Fig. 38, und dem Strohhalmelektrometer einen nicht iſolirten Leiter ein, ſo fallen die Pendel ganz zuſammen. Es iſt dies nach den bekannten Geſetzen nicht anders zu erwarten.

Schiebt man zwiſchen a und dem Elektrometer eine iſolirte Metallſcheibe ein, ſo findet eine bedeutende Verminderung der Divergenz der Pendel Statt, ſie fallen jedoch nicht ganz zuſammen. Es iſt dies jedenfalls die Folge einer vertheilenden Wirkung, welche A auf die eingeſchobene iſolirte Metallſcheibe ausübt.

Schiebt man zwiſchen *a* und dem Elektrometer eine Schellackſcheibe ein, ſo findet ebenfalls eine Verminderung der Divergenz Statt, doch nicht ſo bedeutend wie beim Einſchieben der iſolirten Metallſcheibe. Es ſcheint dies darauf hinzudeuten, daß der elektriſche Körper *a* auch im Schellack eine Vertheilung bewirkt, wenn auch nicht ſo ſtark wie in einem guten Leiter. In der That wiſſen wir ja auch, daß Schellack zwar ein ſehr ſchlechter Leiter, aber doch kein abſoluter Iſolator iſt.

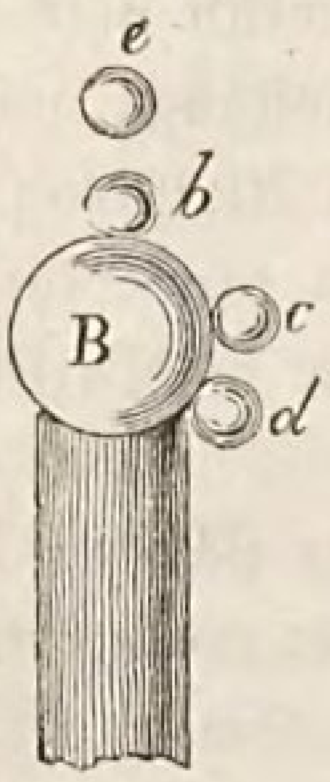
Etwas ähnliches ſcheint auch Knochenhauer in dem citirten Aufſatze andeuten zu wollen.

Jedenfalls iſt dieſer Gegenſtand einer näheren Unterſuchung zu unterwerfen; nur ſoviel ſteht feſt, daß durch ſtarre Iſolatoren hindurch keine ſtärkere Bindung ſtattfindet als durch Luft, wie dies Faraday's Anſicht iſt.

23 **Vertheilung in krummen Linien.** Sehen wir nun wie Faraday die Vertheilung in krummen Linien darzuthun ſucht.

Ein Schellackcylinder von 0,9 Zoll Durchmeſſer, welcher vertikal aufgeſtellt werden kann und oben eine Vertiefung hat, wird durch Reiben elektriſch gemacht, und eine Meſſingkugel von 1 Zoll Durchmeſſer aufgelegt. Nun wurde eine iſolirte Probekugel an die mit *d*, *c*, *b* und *e* bezeichneten Stellen gebracht, einen Augenblick ableitend berührt, und dann unterſucht, ob, und welche elektriſche Ladung ſie habe. Es ergab ſich, daß dieſe Probekugel ſowohl bei *d* und *c*, als auch bei *b* und *e*, eine poſitive Ladung erhalten hatte.

Fig. 39.



Das Reſultat dieſer Verſuche hat nicht das mindeſte Auffallende, man hätte den Erfolg wohl vorausſehen können. Die Kugel *B* wird durch Vertheilung poſitiv elektriſch; auf die Probekugel, wo ſie ſich auch befinden mag, alſo auch in *b* und *e*, wirkt gleichzeitig die $-E$ des Schellackcylinders und die gebundene $+E$ der Kugel *B*; die Wirkung des Schellackcylinders iſt überwiegend, folglich wird die Probekugel ſowohl in *b* als auch in *e* mit gebundener $+E$ geladen werden müſſen.

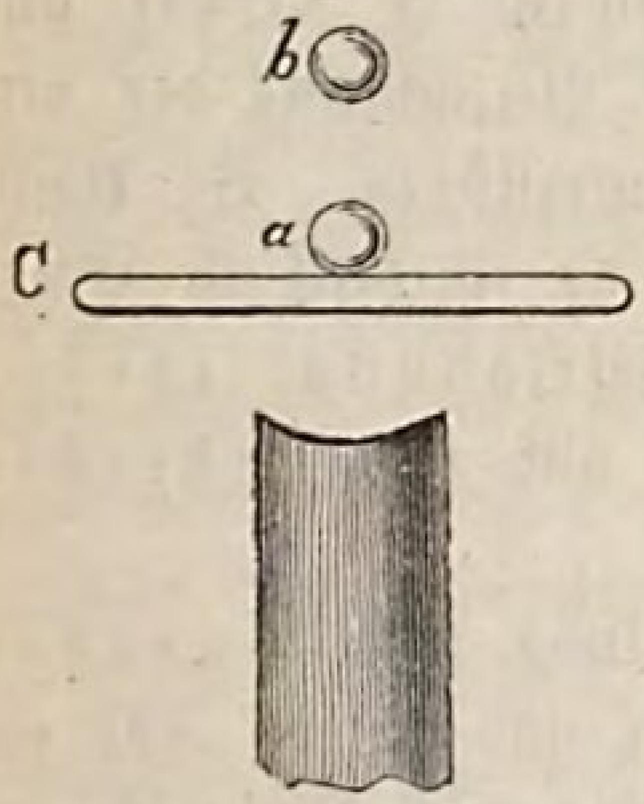
Es iſt dies ein ganz analoger Fall, wie der auf Seite 35 beſprochene.

Daß Faraday hier etwas Beſonderes findet, was mit den bisherigen Vorſtellungen über die Wirkung der Elektricität in die Ferne im Widerſpruch ſtehen ſoll, iſt ein Beweis, daß er von den Grundſätzen der ſtatiſchen Elektricität durchaus keine klare Vorſtellung hat. Er macht ſich von dem Hergang der Sache folgende Vorſtellung: Die Probekugel iſt in *b* ſowohl als in *e* durch Vertheilung elektriſch geworden, da man nun aber weder von *b* noch von *e* aus den Schellackcylinder ſehen kann, ſo

muß alſo die Vertheilung um *B* herum durch die Luft, es muß alſo eine Vertheilung in krummen Linien ſtattgefunden haben. Um zu dieſer Erklärung kommen zu können, muß Faraday natürlich annehmen, daß durch einen Leiter hindurch gar keine vertheilende Wirkung ſtattfinden könne.

Daß durch Metall hindurch keine Vertheilung ſtattfinden könne, dafür glaubt Faraday ſogar einen Beweis liefern zu können. Ueber den Schellackcylinder wurde eine Metallſcheibe *C* Fig. 40 gehalten, und für einen Augenblick ableitend berührt, ſo daß ſie ſich durch Vertheilung mit + *E* laden mußte. Wurde nun eine Probeſcheibe oder eine kleine Probekugel in *a* dicht über die Mitte der Scheibe gehalten und für einen Augenblick ableitend berührt, ſo zeigte ſie doch durchaus keine Ladung, woraus Faraday ſchloß, daß die Elektricität des Schellackcylinders nicht durch die Metallſcheibe hindurch vertheilend wirken kann, erhebt man aber die Probekugel etwa bis *b*, ſo empfängt ſie hier eine poſitive Ladung, welche nach Faraday's Anſicht daher rührt, daß die Vertheilung in krummen Linien um die Platte herum fortſchreitend auf den Punkt *b* wirken kann.

Fig. 40.



Denſelben Verſuch in etwas anderer Form hat auch Fechner in der ſchon oben Seite 37 angeführten Abhandlung (P. A. LI. 321) beſprochen, er hat gezeigt, daß die Erſcheinung, wie ſie auch Faraday beſchreibt, eine nothwendige Folge der bekannten Geſetze der Bindung und Vertheilung ſind.

Fechner ſagt:

»Daß das Maximum der Wirkung in einiger Entfernung von der
»oberen Scheibe*) eintritt, kann nichts auffallendes haben. Für alle
»Punkte der oberen Scheibe muß die Wirkung der negativen Elektricität,
»die ſie enthält, genau im Gleichgewicht ſeyn mit der Wirkung der poſiti-
»ven Elektricität der unteren Scheibe, ſonſt müßte mehr oder weniger
»Elektricität in der oberen Scheibe zerſetzt werden, und ſich mehr anſam-
»meln als es der Fall iſt. Erhebt man aber die Prüfungsplatte über
»die obere Scheibe, ſo nimmt ihr Abſtand von den Punkten der oberen
»Scheibe in anderm Verhältniß zu, als von denen der untern Scheibe, da-
»her fängt dieſe (nämlich die Wirkung der unteren Scheibe) an zu über-

*) Fechner hatte ſtatt des Schellackcylinders eine poſitiv elektriſche iſolirte Metallplatte, die er die untere nennt, angewandt.

»wiegen. Inzwiſchen kann die Wirkungszunahme mit der Erhebung der »Prüfungsplatte nur bis zu einem gewiſſen Maximum gehen, weil bei »großer Entfernung die Wirkung jeder Scheibe für ſich ſchon verſchwindet.«

Dieſe Erſcheinungen ſind alſo durchaus kein Beweis für die Vertheilung in krummen Linien, und überhaupt läßt ſich behaupten, daß Faraday für die Anſicht, daß die Vertheilung durch die Vermittlung der Theilchen des zwiſchenliegenden Iſolators vor ſich gehe, durchaus keinen haltbaren Beweis geliefert hat.

24 **Faraday's Vertheilungstheorie.** Faraday ſucht in der 12ten und 13ten Reihe ſeiner Experimentaluntersuchungen (P. A. XLVII. und XLVIII.) ſeine Vertheilungstheorie noch durch die Betrachtung der verſchiedenen Formen der elektriſchen Entladung zu unterſtützen. Er klaſſificirt die verſchiedenen Entladungsarten, indem er ſie eintheilt in Entladung durch Leitung, elektrolytiſche Entladung, zerreißende Entladung (Funken, Büſchel u. ſ. w.) und fortführende Entladung.

Bei der Betrachtung der Entladung durch Leitung ſucht Faraday darzuthun, daß der Unterſchied zwiſchen Iſolatoren und Leitern nur ein quantitativer ſey, eine Wahrheit, die meines Wiſſens noch Niemand in Zweifel gezogen hat.

Der elektrolytiſchen Ladung, ſagt Faraday, geht eine vertheilende Wirkung durch das Elektrolyt hindurch voraus; der Vertheilungszuſtand iſt in der That ein nothwendiger Vorläufer der Entladung, der Zerſetzung geht ein Polariſations- ein Spannungszuſtand den Theilchen der zu zerſetzenden Flüſſigkeit voraus. — Auch dagegen iſt nichts einzuwenden.

Für die zerreißende Entladung ſucht Faraday gleichfalls nachzuweiſen, daß die Theilchen des Di-elektriums, durch welches hindurch die Entladung, ſey es nun in Form von Funken oder Büſcheln, ſtattfindet, ſich in einem Spannungs- oder Polariſationszuſtande befinden, von welchem übrigens Faraday troß der unendlich weitläufigen Beſprechung des Gegenſtandes keineswegs eine klare Vorſtellung giebt. Seine theoretiſchen Betrachtungen über dieſen Punkt ſind eben ſo gedehnt, wie ſie dunkel und unverſtändlich ſind, mir wenigſtens iſt es nicht gelungen, mir eine klare Vorſtellung davon zu machen, wie ſich wohl Faraday den Polariſationszuſtand der iſolirenden Theilchen denkt, welchen die elektriſche Entladung, ſey es in Form von Funken oder Büſcheln, vorausgeht.

Wenn wir uns von einem ſolchen Spannungs- oder Polariſationszuſtande der Lufttheilchen, welche der Funken- oder Büſchelentladung vorausgeht, auch keine klare Vorſtellung machen können, ſo iſt doch die Exiſtenz eines ſolchen Zuſtandes keineswegs zweifelhaft, ſo wenig wie eine ſolche

Annahme mit den bisherigen elektriſchen Theorien im Widerſpruch ſteht; Faraday aber geht weiter; er ſieht in dieſem Polariſationszuſtande einen Beweis, daß die elektriſche vertheilende Wirkung, welche durch die Luft oder das ſie erſetzende Di-elektricum hindurch ſtattfindet, durch dieſen Polariſationszuſtand vermittelt werde. Für die Richtigkeit dieſer Anſicht iſt jedoch Faraday den Beweis vollſtändig ſchuldig geblieben.

In der Abſicht, ſeine Vertheilungstheorie dadurch zu begründen, führt Faraday viele Verſuche über Funken und Büſchel an, die, wenn ſie auch vor der Hand noch keine ſo hohe theoretiſche Bedeutung haben, doch als intereſſante und wichtige Thatſachen an einer andern Stelle beſprochen werden ſollen.

Da Leitung und Iſolation nur quantitativ verſchiedene Zuſtände ſind, ſo meint Faraday, daß auch in beſſer leitenden Flüſſigkeiten eine fortführende Entladung ſtattfinden könnte, wenn nur eine hinlängliche Quantität von Elektricität vorhanden wäre. Der folgende Verſuch möchte dieſe Anſicht wohl unterſtützen.

Zwei Platindrähte, welche die Pole einer ſtarken Volta'ſchen Batterie bildeten, wurden nahe und neben einander in eine ſtarke Glasröhre mit deſtillirtem Waſſer, welches einige Fäſerchen enthielt, hermetiſch eingeſchmolzen. Als vermöge des in Folge der fortdauernden Gasentwickelung verſtärkten Druckes die Blaſen an dem Elektroden ſo klein geworden waren, daß ſie nur ſchwach aufſteigende Ströme anzeigten, konnte bemerkt werden, daß die Fäſerchen zwiſchen beiden Drähten angezogen und abgeſtoßen wurden, wie ſie es zwiſchen zwei entgegengeſetzt geladenen Flächen in Luft oder Terpentinöl geworden wären; ſie bewegten ſich ſo raſch, daß ſie die Blaſen und Ströme, welche dieſe zu bilden ſuchten, verſchoben und ſtörten. Nun glaubt Faraday, daß es kaum bezweifelt werden könne, daß unter ähnlichen Umſtänden bei einem reichlichen Zufluſſe von Elektricität, beſonders von hinlänglicher Spannung, fortführende Ströme gebildet worden wären. Die Anziehungen und Abſtoßungen der Fäſerchen waren in der That die Elemente ſolcher Ströme, und deshalb iſt Waſſer, obgleich es als Leiter faſt unendlich über Luft und Terpentinöl ſteht, ein Medium, in welchem ähnliche Ströme ſtattfinden können.

Faraday's Theorie behauptet, nicht über die Folgerungen hinſichtlich eines Vacuums zu entſcheiden. Nach ſeiner Anſicht ſind die elektriſchen Erſcheinungen, wie die der Vertheilung, Leitung, Iſolation bedingt und erzeugt worden durch die Wirkung angrenzender Körpertheilchen, wobei das nächſte Theilchen als ein angrenzendes zu betrachten iſt; ferner nimmt Faraday an, daß dieſe Theilchen polariſirt werden, und daß ſie nur durch Wirkung der angrenzenden und intermediären Theilchen in die Ferne wirken.

Allein angenommmen, daß in die Bahn der Vertheilungslinien ein Vacuum trete, ſo folgt nicht aus dieſer Theorie, ſagt Faraday, daß die Theilchen auf der andern Seite deſſelben nicht auf einander wirken können. Geſetzt, ſagt er, es ſey einem poſitiv elektriſirten Theilchen möglich, im Mittelpunkte eines Vacuums von 1 Zoll Durchmeſſer zu exiſtiren, ſo hindert nichts in meiner Theorie das Theilchen, in der Entfernung von $1/2$ Zoll auf alle die Grenzfläche der Kugel bildende Theilchen zu wirken, mit einer Kraft, gemäß der bekannten Geſetze der Quadrate der Entfernung.

Hier nimmt alſo Faraday doch wieder die actio in distans an.

In der vierzehnten Reihe von Experimental-Unterſuchungen (P. A. Ergänzungsband von 1842) ſtellt Faraday ſeine Anſichten über die Natur der elektriſchen Kräfte und namentlich über den die Vertheilung begleitenden Spannungszuſtand etwas zuſammen; ich will dieſe Zuſammenſtellung wörtlich anführen:

»1669. Die Theorie (nämlich Faraday's Theorie) nimmt an, daß »alle Theilchen, ſowohl von iſolirenden als leitenden Subſtanzen, als »Ganze Leiter ſind.

»1670. Daß ſie in ihrem Normalzuſtande nicht polar ſind, es aber »durch den Einfluß benachbarter geladener Theilchen werden können, und »der Polarzuſtand in einem Augenblicke entwickelt werden kann, genau »wie in einer iſolirten leitenden Maſſe von vielen Theilchen.

»1671. Daß die Theilchen polariſirt in einem Zwangszuſtande befind»lich ſind, und in ihren normalen oder natürlichen Zuſtand zurückzukeh»ren ſuchen.

»1672. Daß ſie, da ſie als Ganze Leiter ſind, leicht geladen werden »können, entweder maſſenhaft oder polar (bodily or polarly).

»1673. Daß Theilchen, welche in der Linie der Vertheilungswirkung »an einander liegen, ihre Polarkräfte mehr oder weniger leicht »einander mittheilen oder auf einander übertragen können.

»1674. Daß in denen, die dieſes weniger leicht thun, die Polarkräfte »auf einen höheren Grad ſteigen, bevor dieſe Uebertragung oder Mitthei»lung ſtattfindet.

»1675. Daß die leichte Mittheilung der Kräfte zwiſchen angrenzenden »Theilchen: Leitung, und die ſchwierige: Iſolation ausmacht, daß »Leiter und Iſolatoren Körper ſind, deren Theilchen von Natur die Eigen»ſchaft beſitzen, ihre reſpectiven Kräfte leicht oder ſchwierig mitzutheilen, »und daß die Körper darin gerade ſo verſchieden ſind, als in andern na»türlichen Eigenſchaften.

»1676. Daß die gewöhnliche Vertheilung das Reſultat iſt der Ein»wirkung der mit erregter oder freier Elektricität geladenen Subſtanz auf

»iſolirende Subſtanz, und in dieſer den entgegengeſetzten Zuſtand zu glei-»chem Betrage zu erregen ſucht.

»1677. Daß ſie [die geladene Subſtanz (P.)] dies nur vermag durch »Polariſation der dicht angrenzenden Theilchen, welche daſſelbe bei den näch-»ſten bewirken, dieſe wiederum bei den folgenden, und daß ſo die Wirkung »fortgepflanzt wird von dem erregten Körper zu der nächſten leitenden »Maſſe, und daſelbſt die entgegengeſetzte Kraft ſichtbar macht, in Folge des »Effects der Mittheilung, welche in der leitenden Maſſe nach der Polari-»ſation der Theilchen (of that body) hinzutritt (1675).

»1678. Daß Vertheilung deshalb nur durch Iſolatoren hin ſtatt-»finden kann; daß Vertheilung Iſolation iſt, und die nothwendige Folge »des Zuſtandes der Theilchen und der Art, wie der Einfluß elektriſcher »Kräfte quer durch ſolche iſolirende Media fortgepflanzt oder durchgelaſſen »wird.«

»1679. Die Theilchen eines iſolirenden Di-elektricum, das unter Ver-»theilung ſteht, können verglichen werden mit einer Reihe kleiner Magnet-»nadeln, oder, noch richtiger, mit einer Reihe kleiner iſolirter Conductoren. »Wenn der Raum rings um eine geladene Kugel gefüllt wäre mit einem »Gemeng von einem iſolirenden Di-elektricum, wie Terpentinöl oder Luft, »und kleinen kugelförmigen Leitern, wie Schrot, in der Weiſe, daß dieſe »etwas von einander abſtänden, um iſolirt zu ſeyn, ſo würden dieſe in »ihrem Zuſtande und ihrer Wirkung genau dem ähneln, was ich glaube, »der Zuſtand und die Wirkung der Theilchen des iſolirenden Di-elektricum »ſelbſt iſt. Wäre der Körper geladen, ſo würden alle dieſe kleinen Leiter »polar; würde man die Kugel entladen, ſo würden alle in ihren Normal-»zuſtand zurückkehren, um bei Wiederladung der Kugel abermals polariſirt »zu werden. Der mittelſt Vertheilung quer durch ſolche Theilchen in einer »entfernten leitenden Maſſe erregte Zuſtand würde von entgegengeſetzter »Art ſeyn, und im Betrage genau gleich der Kraft der vertheilenden Ku-»gel. Es würde daſelbſt eine Seitenverbreitung der Kraft (1224. 1297) »ſtattfinden, weil jedes polariſirte Kügelchen in einer thätigen oder Span-»nungs-Beziehung zu allen ihm benachbarten ſtände, gerade ſo, wie ein »Magnet auf zwei oder mehre benachbarte Magnetnadeln wirken kann, »und dieſe wiederum auf eine noch größere Zahl jenſeits liegende wirken »können. Hieraus würden krumme Linien der Vertheilungskraft entſte-»hen, wenn der vertheilte Körper in ſolch einem gemiſchten Di-elektricum »eine uniſolirte metalliſche Kugel (1219 ꝛc.) oder andere gehörig geformte »Maſſe wäre. Solche krummen Linien ſind die Folgen zweier elektriſchen »Kräfte, ſo geordnet, wie ich es annehme; und daß die Vertheilungskraft »nach ſolchen krummen Linien gerichtet werden kann, iſt der ſtrengſte Be-

»weis des Daſeyns der beiden Kräfte und des Polarzuſtands der di=elek=»triſchen Theilchen.

»1680. Ich glaube, es iſt einleuchtend, daß in dem angegebenen Falle »die Wirkung in die Ferne nur aus einer Wirkung der anliegenden lei=»tenden Theilchen übergehen kann. Kein Grund iſt da, warum der ver=»theilende Körper entfernte Leiter polariſiren oder afficiren und die be=»nachbarten, namentlich die Theilchen des Di=elektricums unafficirt »laſſen ſollte; alle Thatſachen und Verſuche mit leitenden Maſſen oder »Theilchen von beträchtlicher Größe widerſprechen einer ſolchen Voraus=»ſetzung.«

Faraday ſtellt ſich alles dem eben mitgetheilten zu Folge ungefähr wie ein Aggregat kleiner Leiter vor, die durch eine iſolirende Subſtanz getrennt ſind; die vertheilende Wirkung von einem Theilchen zum andern muß er ſich alſo gerade ſo vorſtellen, wie man ſich gewöhnlich den Vorgang der Vertheilung zwiſchen zwei Leitern denkt; zwiſchen zwei Theilchen des Iſo=lators muß er alſo auch eine actio in distans in der gewöhnlichen Art anneh=men. Da er alſo in letzter Inſtanz doch wieder eine Wirkung in die Ferne und iſolirende Zwiſchenräume annehmen muß, ſo iſt wahrlich wenig Grund vorhanden, in dieſem Falle die bisher gangbaren Vorſtellungen fallen zu laſſen, die allerdings manches Mangelhafte haben mögen, die man aber doch ſo lange wird beibehalten müſſen, bis ſchlagendere Beweiſe nicht allein ihre Unzulänglichkeit, ſondern auch ihre Unrichtigkeit darthun.

Im weiteren Verlaufe der vierzehnten Reihe beobachtet Faraday das Vertheilungsvermögen kryſtalliſirter Körper nach verſchiedenen Rich=tungen hin. — Nach ſeinen Vorſtellungen über ſpecifiſches Vertheilungs=vermögen wäre es wohl denkbar, daß kryſtalliſirte Körper nicht nach allen Richtungen hin gleiches Vertheilungsvermögen haben, daß z. B. Bergkry=ſtall oder Kalkſpath in der Richtung ihrer optiſchen Axe ein größeres oder geringeres Vertheilungsvermögen hätten, als rechtwinklig zu derſelben. Faraday's Verſuche laſſen die Frage durchaus unentſchieden, indem ſich in den meiſten Fällen nur höchſt geringe Unterſchiede zeigten, in andern Fällen aber, wo ſich größere Differenzen ergaben, farbige Schichten im Kryſtall, Sprünge und dergleichen eine ſtörende Wirkung gehabt haben können. Ich halte es nicht für nöthig, hier mehr ins Einzelne zu gehen.

Faraday's Anſichten über die elektriſche Vertheilung mußten ihm noth=wendig die Frage aufdrängen, ob die magnetiſchen Anziehungen und Ab=ſtoßungen, wie man bisher annahm, einer Wirkung in die Ferne zuzu=ſchreiben ſind, oder ob auch der Magnetismus in ähnlicher Weiſe durch die Vermittelung intermediärer Theilchen in die Ferne wirke, analog, wie er es ſich bei der Vertheilung der ſtatiſchen Elektricität denkt.

Die Verſuche, welche Faraday zur Löſung dieſer Frage anſtellte, ga=

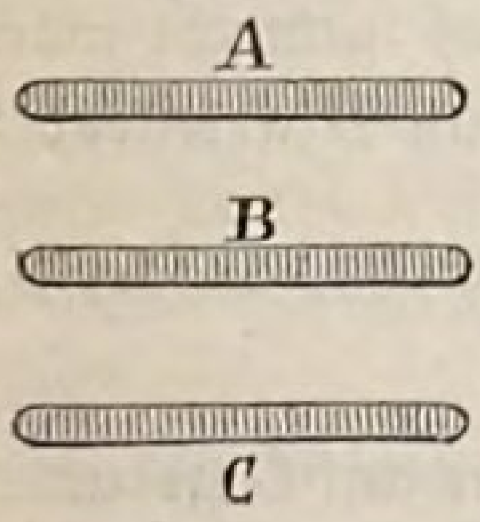
ben durchaus negative Reſultate, mochte er nun Schellack-, Schwefel- oder Kupferplatten als Zwiſchenkörper anwenden. Es war hier kein Zeichen vom Einfluß intermediärer Theilchen zu erlangen.

Wenn auch die erſten Verſuche nicht dafür ſprechen, daß der Magnetismus durch die Vermittelung zwiſchenliegender Theilchen in die Ferne wirke, ſo wäre es doch denkbar, daß ein Magnet dennoch auch alle Theilchen der ihn umgebenden nicht magnetiſchen Körper afficire, ſie in einen eigenthümlichen Spannungszuſtand verſetze, ähnlich dem Spannungszuſtande des Di-elektricums, durch welches hindurch Vertheilung von einem Leiter zu einem andern ſtattfindet, und ſicherlich iſt Faraday durch das Beſtreben, Beweiſe für einen ſolchen Zuſtand aufzufinden, zur Entdeckung der Drehung der Polariſationsebene durch Magnetpole und durch galvaniſche Ströme, ſo wie des Diamagnetismus geleitet worden, Entdeckungen, die allein hinreichen würden, ſeinen Namen in der Geſchichte der Wiſſenſchaft unſterblich zu machen.

Munck af Roſenſchöld, über Vertheilung und Bindung. 25
Im 69ſten Bande von Poggendorff's Annalen findet ſich ein Aufſatz von Munck af Roſenſchöld, in welchem ebenfalls Vertheilung und Bindung der Elektricität beſprochen wird. Bei ſeinen etwas gedehnten Betrachtungen, in welchen er natürlich auch viel Bekanntes zur Sprache bringt, geht er von der richtigen Anſicht über Vertheilung aus, welche auch von Rieß und Fechner vertreten worden iſt.

Folgendes möchte wohl das wichtigſte aus Roſenſchöld's Aufſatze ſeyn.

Fig. 41.



Die Scheibe A, Fig. 41, ſey elektriſch und wirke vertheilend auf B und C. — Die auf A vorhandene Elektricitätsmenge ſey E, ſo wird ſie auf dem mit einem dünnen Drahte ableitend berührten B die Elektricitätsmenge $-mE$ binden. Nun wird die Scheibe C in den elektriſchen Schatten von B gebracht und ebenfalls ableitend berührt, ſo wirkt auf dieſe Scheibe ſowohl A als auch B. Bezeichnen wir mit m' den Bindungscoefficienten, welchem die Entfernung zwiſchen B und C zukommt, ſo wird von B aus in C gebunden $m' . mE$, da mE die auf B vorhandene Elektricität bezeichnet, allein von A aus wird auf C gebunden $-m''E$, wenn m'' den der Entfernung von A nach C entſprechenden Bindungscoefficienten bezeichnet; auf C wird alſo gebunden ſeyn

$$c = mm'E - m''E.$$

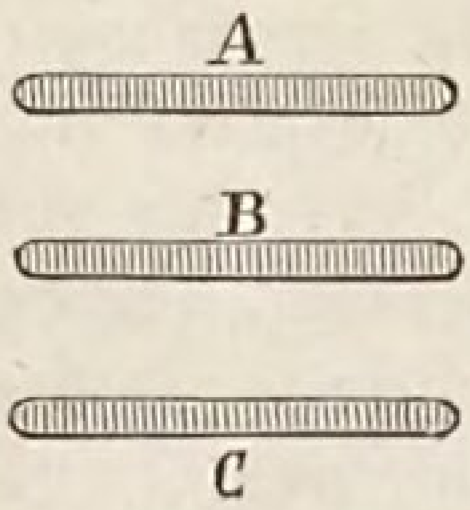
Die Dichtigkeit der auf C gebundenen Elektricität iſt nur ſtets gering, wäre ſie ganz Null, ſo hätte man

$$m . m' = m''.$$

Wäre dies wirklich ſtreng wahr, ſo wäre m^2, m^3, m^4 u. ſ. w. der Bindungscoefficient für die Entfernungen 2, 3, 4, wenn m den Bindungscoefficienten für die Entfernung 1 bezeichnet, oder mit andern Worten, die Entfernungen wären die Logarithmen der Vertheilungscoefficienten.

Die gebundene Elektricität auf C iſt aber nicht Null, wenn ſie auch ſchwach iſt. Sie wird unmerklich, wenn C ſehr nahe an B, oder auch wenn A ſehr nahe an B gerückt wird, für eine beſtimmte Entfernung zwiſchen A und C wird die gebundene Elektricität ein Maximum, wenn ſich B gerade in der Mitte zwiſchen beiden befindet.

Fig. 42.



Dieſe Beziehungen hat ſchon Fechner ermittelt und in ſeiner erwähnten Abhandlung ausgeſprochen (ſiehe Seite 37).

Roſenſchöld ſuchte nun zu beſtimmen, in welchem Verhältniſſe ſich die Menge der auf C gebundenen Elektricität ändert, wenn einmal die Zwiſchenplatte B iſolirt bleibt, dann aber ableitend berührt wird.

Die Scheiben A, B und C hatten 6 Zoll im Durchmeſſer, die Entfernung von A und C betrug 9″, B war in der Mitte zwiſchen beiden. War nun B ableitend berührt, ſo fand Roſenſchöld, daß die auf C gebundene Elektricität nur $\frac{1}{75}$ von derjenigen war, welche auf C gebunden wurde, von B iſolirt blieb. Im letzteren Falle, d. h. wenn B iſolirt bleibt, iſt es nach Roſenſchöld's Verſuchen ziemlich gleichgültig, ob die Scheibe B vorhanden iſt oder nicht.

Als nun die Entfernung von A und C halb ſo groß gemacht wurde, war die Elektricität, welche auf C gebunden wurde, wenn B ableitend berührt war, nur $\frac{1}{235}$ von der, welche für den Fall gebunden wurde, wenn B iſolirt blieb.

Als A und C 2 Fuß von einander abſtanden, war die auf C gebundene Elektricität überhaupt nicht bedeutend, bei ableitend berührtem B betrug aber die gebundene Elektricität auf C doch noch mehr als die Hälfte von der, welche bei iſolirtem B beobachtet wurde.

Aehnliche Verſuche wurden mit dreizölligen Scheiben gemacht.

Als A und C 9 Linien von einander abſtanden, war bei abgeleitetem B die auf C gebundene Elektricitätsmenge $\frac{1}{27}$ von der bei iſolirtem B auf C gebundenen.

Als Endreſultat dieſer Verſuche ergab ſich, daß m'' nur wenig von mm' verſchieden iſt, ſo lange die Entfernung der Scheiben A und C $1/4$ bis $1/8$ ihres Durchmeſſers nicht überſteigt.

Was die obigen Verhältnißzahlen $\frac{1}{75}$, $\frac{1}{235}$, $\frac{1}{27}$ betrifft, ſo iſt zu bemerken, daß Roſenſchöld nicht gehörig angegeben hat, wie er die Angaben ſeiner Elektrometer, die er zu dieſen Meſſungen benutzte, gehörig vergleichbar machte.

Rieß, über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condenſators. Die letzte hierher gehörige Arbeit, welche wir noch zu beſprechen haben, iſt diejenige, welche Rieß im 73ſten Bande von Poggendorff's Annalen unter dem Titel: »über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condenſators« publicirt hat. Mit dem Namen Influenz-Elektricität bezeichnet Rieß das, was man gewöhnlich gebundene Elektricität nennt, eine Bezeichnung, die, wie Rieß in der hiſtoriſchen Einleitung zu ſeinem Aufſatze zeigt, viel zur Befeſtigung irriger Anſichten über das Weſen der Influenz-Elektricität beigetragen hat. 26

Lichtenberg hat den Ausdruck »gebundene« Elektricität zuerſt in die Wiſſenſchaft eingeführt. Lichtenberg ſpricht von der gebundenen, latenten oder todten Elektricität im Gegenſatze zu der freien, ſenſibelen, er unterſcheidet von dem gewöhnlichen elektriſchen Zuſtande einen andern, in welchem die Elektricität zwar vorhanden, aber wirkungslos, todt, latent ſeyn ſoll, ganz analog der gebundenen Wärme. (Erxleben, Anfangsgründe der Naturlehre. 3te Aufl. mit Zuſätzen von Lichtenberg. 784. Seite 499.)

Dies iſt für die Wiſſenſchaft von ſehr nachtheiligen Folgen geweſen, und hat Veranlaſſung zu den abentheuerlichſten Vorſtellungen über das Weſen der gebundenen Elektricität gegeben, welche, hartnäckig vertheidigt, wie wir ja oben geſehen haben, nur mit vieler Mühe berichtigt werden konnten. Doch können wir wohl jetzt die Meinung, als ob der gebundenen Elektricität ganz beſondere Eigenſchaften zukämen, als eine überwundene anſehen.

Biot ſtellt die Theorie des Condenſators und der Leidener Flaſche ungefähr ſo dar. Wenn einer iſolirten Metallplatte die Elektricitätsmenge 1 mitgetheilt wird, ſo wird dieſe in einer nahe geſtellten ableitend berührten Metallplatte die Elektricitätsmenge m binden, die dann wieder auf die erſte Scheibe zurückwirkend in dieſer die Elektricitätsmenge m^2 bindet, ſo daß nur noch die Elektricitätsmenge $1 - m^2$ als freie Elektricität übrig bleibt. Iſt E die größte Elektricitätsmenge, welche die iſolirte Platte einzelnſtehend aufnehmen kann, ſo wird ſie in der Nähe der Condenſatorplatte noch mehr Elektricität aufnehmen können, bis ihre freie Elektricität E beträgt. Bezeichnet A die ganze Elektricitätsmenge, welche ſie jetzt aufzunehmen im Stande iſt, ſo muß alſo $(1 - m^2)\, A = E$ ſeyn,

und daraus $\frac{A}{E} = \frac{1}{1-m^2}$. Dieſer Bruch giebt das Verhältniß der Elektricitätsmengen an, welche die iſolirte Platte einmal einzeln ſtehend und dann in der Nähe der Condenſatorplatte aufnehmen kann, ſie drückt daher die condenſirende Kraft des Apparates aus.

Dieſe Formel iſt nun ganz zuläſſig, in ſo weit ſie nur zur Veranſchaulichung der Wirkung des Condenſators dienen; es muß aber als ein Mißbrauch dieſer Formel bezeichnet werden, wenn ſie zur wirklichen Berechnung der condenſirenden Kraft des Apparates angewandt werden ſoll, denn Rieß weiſ't nach, daß die Verſtärkungszahl des Condenſators durchaus keine beſtimmte, etwa nur von der Entfernung der Platten abhängige Größe iſt, ſondern daß ſie abhängt von der Form und der Größe der Condenſatorplatte, von der Lage des Ableitungsdrahtes der Condenſatorplatte, von der Stelle, an welcher der Collectorplatte die Elektricität aus der Elektricitätsquelle zugeführt wird u. ſ. w. Kurz, Rieß hat gezeigt, daß die Condenſationszahl eine Größe iſt, welche bei demſelben Inſtrumente von einem Verſuche zum andern variirt, daß man alſo auch die obige Formel nicht anwenden könne, um die condenſirende Kraft des Apparates zu berechnen.

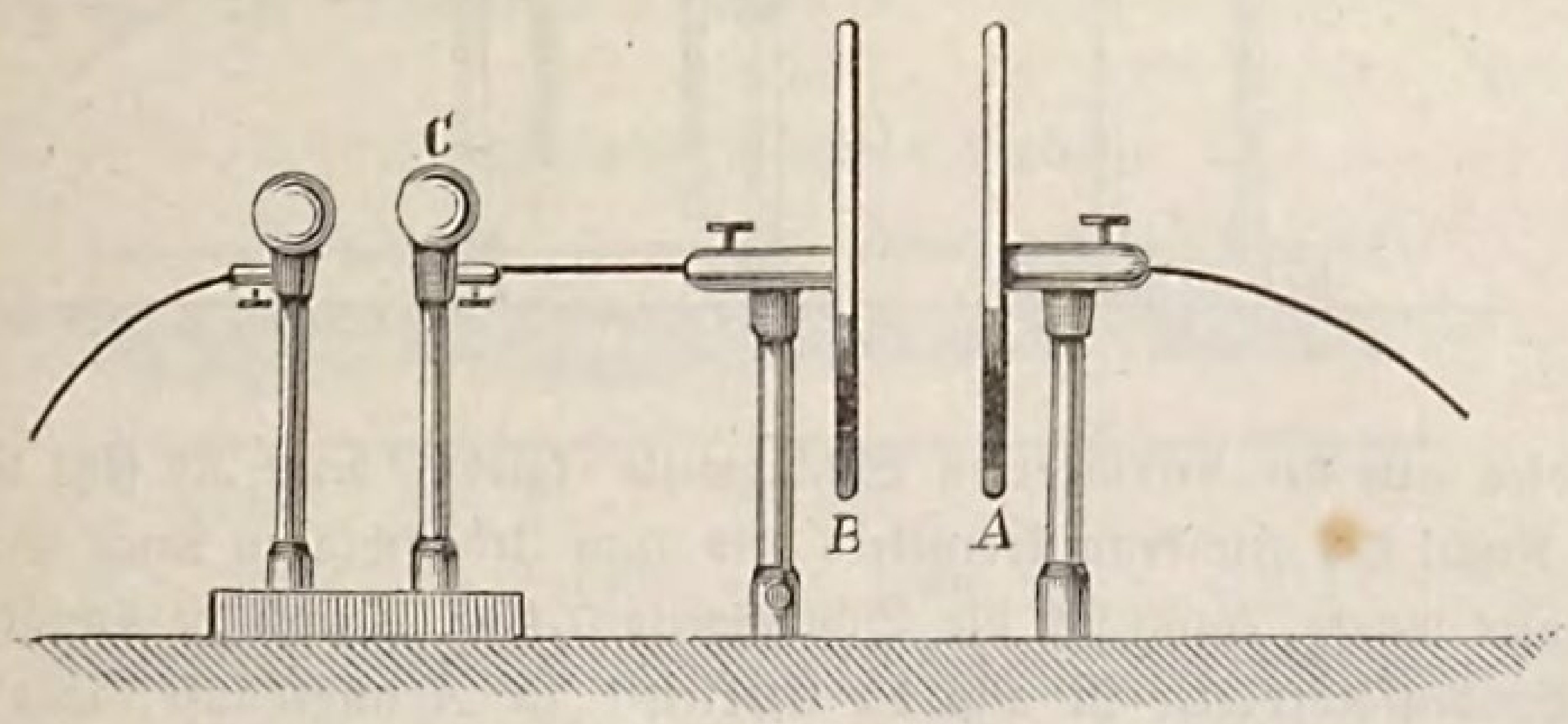
Ueber die Art und Weiſe, wie ſich Rieß über die beſprochene Formel äußert, erlaube ich mir noch einige Bemerkungen zu machen. Er ſpricht ſich nämlich ſehr ſtark gegen jene Formel aus, und zwar ſo, daß man meinen ſollte, die ganze Vorſtellungsweiſe, die Biot von der Wirkung des Condenſators vorträgt, ſey nicht allein mangelhaft, ſondern ſogar grundfalſch. — Rieß bekämpft mit Recht den Mißbrauch, den man von der Formel gemacht hat, um die condenſirende Kraft des Apparates zu berechnen, und weiſ't durch Verſuche unwiderleglich nach, daß eine ſolche Anwendung derſelben nicht zuläſſig ſey; in den einleitenden Betrachtungen drückt er ſich aber in einer Weiſe aus, daß man glauben ſollte, er wollte noch weit mehr gegen die Formel beweiſen, als es in der That ſeine Abſicht iſt, wodurch das Verſtändniß ſeiner Abhandlung ſehr erſchwert wird. Erſt ſpäter merkt man, daß es mit der Polemik gegen die Formel ſo ſchlimm nicht gemeint iſt, als man anfangs glauben ſollte, erſt ſpäter wird es dem Leſer recht klar, daß Rieß nur gegen den Mißbrauch der Formel kämpft, die am Ende doch auf derſelben Vorſtellung über die Wirkung des Condenſators beruht, welche er ſelbſt entwickelt. Zum Theil geht die Polemik gegen die Formel auf einen Wortſtreit hinaus.

Gehen wir nun zu den Verſuchen über, welche Rieß anſtellte, um die Wirkungsweiſe des Condenſators zu erläutern und zu ermitteln, welche Umſtände auf die Condenſationsfähigkeit des Inſtrumentes von Einfluß ſind.

Zwei ebene Meſſingſcheiben, 87,6 Linien im Durchmeſſer, $^{17}/_{24}'''$ dick,

mit abgerundeten Rändern, wurden auf einer Seite und zwar gerade in der Mitte mit 15 Linien langen, 11 Linien dicken cylindriſchen Anſätzen verſehen. Dieſe Fortſätze ſind in der Axe durchbohrt, ſo daß darin ein Zuleitungsdraht mittelſt einer Klemmſchraube befeſtigt werden kann. Winkelrecht auf ihrer Axe haben dieſe Anſätze eine Höhlung, in welcher ein etwas über 8 Zoll langer, mit Schellack überzogener Glasſtab eingekittet iſt. Dieſe die Scheiben tragenden Glasſtäbe ſtehen vertikal auf einem horizontalen Brette, wie dies die ſchematiſche Figur 43 zeigt.

Fig. 43.



Die eine Scheibe A, die vertheilte oder die Condenſatorplatte, läßt ſich durch ein Charnier am unteren Ende ihres Glasſtabes ganz umlegen. Die vertheilende Scheibe B, auch Collectorplatte genannt, ſteht auf einem Schlitten, ſo daß ſie A nach Belieben genähert und die Entfernung mit Genauigkeit gemeſſen werden kann.

Die Condenſatorplatte A war während des Gebrauches durch einen Metalldraht zu den Gasröhren des Hauſes abgeleitet.

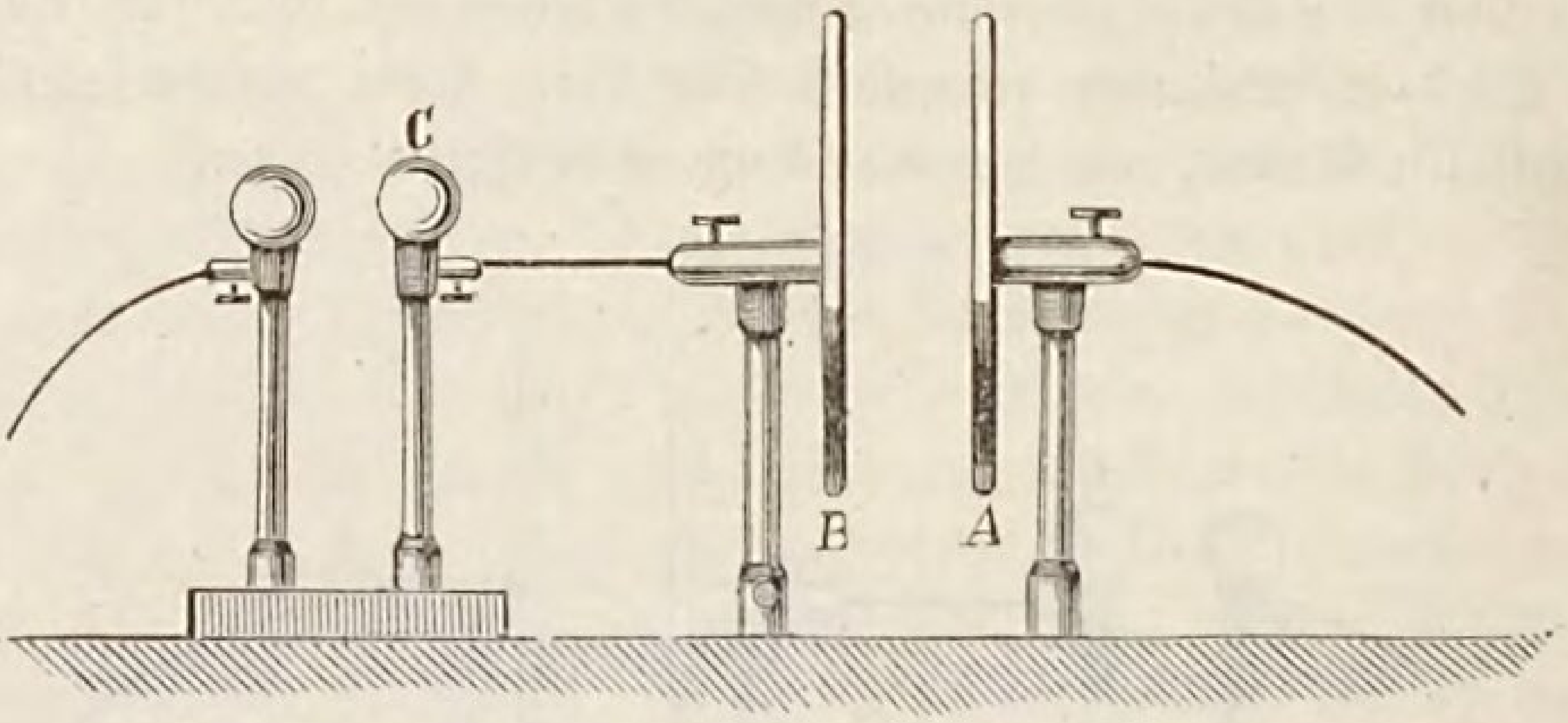
Die Collectorplatte B iſt durch einen Metalldraht mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, deſſen andere Kugel zu den Gasröhren des Hauſes abgeleitet iſt.

A wurde nun umgelegt, ſo daß alſo B allein ſtand, und dann B durch Berührung mit dem Knopfe einer Leidener Flaſche elektriſirt. Die Elektricität verbreitet ſich nun frei über das ganze iſolirte Syſtem, alſo über die Platte B und die mit ihr verbundene Kugel des Funkenmikrometers. Die Schlagweite der hier befindlichen Elektricität wurde nur durch allmälige Annäherung der andern Kugel des Funkenmikrometers gemeſſen. Ein Verſuch gab beiſpielsweiſe die Schlagweite 1,475‴.

Die bewegliche Kugel des Funkenmikrometers wurde nun wieder zurückgeſchoben, die Platte B auf dieſelbe Weiſe wie vorher geladen, alsdann die Scheibe A aufgerichtet und B bis auf zwei Linien genähert; nun

wirkt B vertheilend auf A, in A häuft ſich $-E$ an, die bindend*) auf B zurückwirkt und eine andere Anordnung der Elektricität in dem ihr gegenüber ſtehenden Syſteme veranlaßt, die Elektricität ſammelt ſich nämlich mehr in A und ihre Dichtigkeit in der Kugel C wird vermindert, wie

Fig. 44.



ſich dies aus der verringerten Schlagweite ergiebt, denn als jetzt die andere Kugel des Funkenmikrometers bis zum Ueberſchlagen eines Funkens genähert wurde, ergab ſich die Schlagweite 0,150. Durch die Annäherung der Condenſatorplatte iſt alſo die Elektricit in A angehäuft, ihre Dichtigkeit in C dagegen vermindert und zwar im Verhältniß von 1,475 zu 0,150, oder ſie iſt im letzten Falle nur noch 0,102 von der früheren.

Die elektriſche Ladung, welche die Flaſche an die Platte abgeben konnte, war in beiden Fällen nicht ganz gleich, denn abgeſehen von dem Verluſt

*) Rieß vermeidet es in ſeinem ganzen Aufſatze, den Ausdruck »gebundene Elektricität« anzuwenden, wohl aus keinem andern Grunde, als weil man mit dem Ausdrucke eine falſche Vorſtellung verband. Der Ausdruck »gebundene Elektricität« läßt ſich aber ſehr wohl mit einer richtigen Vorſtellung von ihrem Weſen vereinigen, und deshalb bin ich nicht der Meinung, einen Ausdruck zu verbannen, der ſchon ſo ſehr in die Gewohnheit übergegangen. Ueberhaupt ſind doch die falſchen Vorſtellungen über gebundene Elektricität nicht ſo verbreitet, wie Rieß zu glauben ſcheint; ich hatte nie eine andere Anſicht, als die, welche er vertritt, und gegen die Darſtellung dieſer Materie in meinem Lehrbuche der Phyſik dürfte Rieß, wenn er nicht an einzelnen Worten Anſtoß nimmt, ſchwerlich viel auszuſetzen finden, namentlich ſind die Bemerkungen auf der untern Hälfte der Seite 414 des erſten Bandes der erſten Auflage (3te Aufl. 2r Bd. Seite 97 unten) geeignet, jeden Zweifel über den wahren Sachverhalt zu entfernen, und doch war mir zur Zeit, als ich jene Stelle ſchrieb, der Rieß'ſche Aufſatz und der ganze Streit über das Weſen der gebundenen Elektricität noch unbekannt, ſonſt hätte ich jedenfalls des auf Seite 34 dieſes Berichtes beſchriebenen zweckmäßigen Verſuchs gebührende Erwähnung gethan; auch hätte ich es hier und da mit einigen Ausdrücken ſchiefer genommen, als es, da ich jenen Streit noch nicht kannte, bei voller Unbefangenheit geſchehen iſt.

an Ladung, welche die Flaſche in der Zeit zwiſchen der erſten und der zweiten Berührung erlitt, hat ſie ja bei der erſten Berührung ſchon Elektricität an die Platte abgegeben, bei der zweiten Berührung mußte alſo ihre Ladung, wenn auch nicht bedeutend, geringer ſeyn. Um dieſe Ungleichheit der Elektricitätsmenge zu corrigiren, machte Rieß eine ganze Reihe von Verſuchen, immer abwechſelnd mit und ohne Condenſatorplatte, und verglich dann die Schlagweite jedes Verſuchs mit der unmittelbar vorhergehenden in folgendem. Die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt.

Entfernung der Scheiben 2 Linien.

Schlagweite in pariſer Linien.

Ohne Condenſatorplatte.	Mit Condenſatorplatte.	Mittel.	Verhältniß.
1,475			
	0,150	1,406	0,106
1,337		0,142	0,106
	0,135	1,303	0,104
1,270		0,132	0,104
	0,130	1,244	0,105
1.219		0,128	0,105
	0,126		0,105

Wenn man alſo mit 1 die Dichtigkeit der Elektricität auf *C* bezeichnet, welche ſich auf dieſe Kugel verbreitet, wenn der Platte *B* eine elektriſche Ladung ertheilt wird, während *A* entfernt blieb, ſo wird, wenn die abgeleitet berührte Condenſatorplatte bis auf 2 Linien der Platte *B* genähert wird, die Elektricität mehr von *C* nach *B* hingezogen, und dadurch die Dichtigkeit der Elektricität auf *C* bis auf 0,105 vermindert.

Der Einfluß, welchen die Condenſatorplatte *A* auf die Vertheilung der Elektricität auf das gegenüberſtehende iſolirte Syſtem *B C* ausübt, hängt natürlich von der Entfernung zwiſchen *A* und *B* ab; je weiter *A* von *B* entfernt bleibt, deſto weniger wird bei ſeiner Annäherung die Dichtigkeit auf *C* vermindert.

Aus mehreren Verſuchsreihen, ganz ſo angeſtellt, wie die oben angeführten fand Rieß für verſchiedene Entfernungen der Condenſatorplatte folgende Schlagweiten an der Kugel *C*, die Schlagweite für ganz entfernte Condenſatorplatten gleich 1 geſetzt.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Schlagweite an der Kugel	0,105	0,272	0,451	0,687	0,794	0,914	1

Angenommen, daß am Knopfe C des normalen Zuleitungsdrahtes eine Ausſtrömung der Elektricität am früheſten ſtattfindet, ſo wird auf der Platte ſo lange eine Anſammlung der Elektricität ſtattfinden können, als die Schlagweite am Knopfe eine beſtimmte Größe nicht überſtiegen hat. Setzen wir dieſe Grenzdichtigkeit auf C gleich 1. Nehmen wir an, das iſolirte Syſtem ſey bei freiſtehender Platte B bis zu dieſer Grenze geladen. — Nun wird die Condenſatorplatte genähert, dadurch die Elektricität mehr nach der Platte B hingezogen, ihre Dichtigkeit auf C alſo (wir wollen annehmen auf $\frac{1}{n}$) vermindert, ſo iſt klar, daß man dem ganzen iſolirten Syſteme $n$mal ſo viel Elektricität als früher zuführen kann, bis auf C wieder die Dichtigkeit 1 erreicht iſt, der Apparat kann alſo jetzt, bei genäherter Condenſatorplatte, $n$mal ſo viel Elektricität aufnehmen als vorhin.

Bei den obigen Verſuchen wurde die Dichtigkeit der Elektricität auf C durch Annäherung der Condenſatorplatte bis 2‴ auf 0,105 oder $\frac{1}{9,5}$ vermindert, dadurch wird alſo auf die Platte B eine 9,5mal ſo ſtarke Anſammlung der Elektricität möglich als ohne Condenſatorplatte.

Für die verſchiedenen Entfernungen der Condenſatorplatte wird alſo bei obigen Verſuchen eine Vermehrung der Dichtigkeit auf der Collectorplatte in folgendem Verhältniß möglich.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Mögliche Vermehrung der elektr. Dichtigkeit auf der Collectorplatte	9,5	3,67	2,21	1,45	1,25	1,09	1

Dies iſt die richtige Darſtellung der Wirkungsweiſe condenſirender Apparate. Allerdings hatte man auch ſchon früher eine richtige Anſicht über den Hergang, ſie war aber nicht ſo ſcharf und klar ausgeſprochen.

Bei dieſen Verſuchen war C mit B durch einen 8″ 5‴ Zoll langen Draht verbunden. Als ſtatt deſſen ein 18″ 3‴ langer Draht angewandt wurde, ergaben ſich faſt genau dieſelben Verhältnißzahlen der Schlagweite für freiſtehende Collectorplatte und genäherte Condenſatorplatte.

Wenn man alſo das leitende Syſtem der Collectorplatte mit einer conſtanten Elektricitätsquelle in Berührung bringt, ſo wird man auf der Collectorplatte *B*, 2,21 — 1,45 — 1,25 u. ſ. w. mal mehr Elektricität anhäufen können, wenn die ableitend berührte Condenſatorplatte *A* 10‴ 20‴, 30‴ weit von *B* abſteht, als wenn ſie gar nicht da iſt.

Rieß ſuchte die Vermehrung der Elektricitätsmenge auf die Collectorplatte durch die Annäherung der Condenſatorplatte unter den obigen Umſtänden, d. h. wenn die Collectorplatte während der Annäherung der Condenſatorplatte mit einer conſtanten Elektricitätsquelle in Verbindung blieb, durch directe Verſuche zu beſtimmen, die er in folgender Weiſe anſtellte.

Zuerſt wurde mit dem Knopf einer Leidner Flaſche die Kugel *C* berührt, während die Condenſatorplatte ganz entfernt blieb, die Flaſche entfernt und die Schlagweite bei *C* gemeſſen.

Dann wurde die ableitend berührte Condenſatorplatte in einer beſtimmten Entfernung aufgeſtellt, *C* abermals mit dem Knopf der Leidner Flaſche berührt, Flaſche und Condenſatorplatte entfernt, und abermals die Schlagweite bei *C* gemeſſen.

So viel mal im letzten Falle die Schlagweite größer gefunden wird als im erſten, um ſo viel mal mehr Elektricität hat im letzteren Falle die Platte *B* aufgenommen als im erſten.

Eine Reihe von Verſuchen ergab im Mittel folgende Elektricitätsmengen für die verſchiedenen Entfernungen der Platten.

Entfernung der Platten . . .	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Aufgenommene Elektricitätsmenge	2,33	1,52	1,31	1,11	1

Der Unterſchied dieſer direct gefundenen Zahlen mit den aus den erſteren Verſuchen berechneten Verdichtungszahlen, iſt in der That ſehr gering. Für kleinere Entfernungen als 10″ konnten nicht wohl Verſuche mit Sicherheit angeſtellt werden.

Das Verhältniß der Elektricitätsmenge der Collectorplatte, je nachdem ſie bei der Berührung allein geſtanden, oder in der Nähe der Condenſatorplatte, heißt **Verſtärkungszahl** des Condenſators. Nach obigen Verſuchen iſt alſo 2,21 — 1,45 u. ſ. w. die Verſtärkungszahl des Condenſators, wenn die Platten 10‴, 20‴, u. ſ. w. abſtanden.

Wir werden alsbald ſehen, daß die Verſtärkungszahl des Condenſators durchaus nicht allein von der Entfernung der Platten abhängt.

Die Beſtimmung der Dichtigkeit der Elektricität auf *c* mittelſt des Funkenmikrometers macht den Hergang allerdings recht anſchaulich, eignet ſich aber nicht zu genauen Beſtimmungen, weil die abgeleitete Kugel des

Funkenmikrometers Einfluß auf die Vertheilung der Elektricität auf der gegenüberſtehenden hat. — Statt des Funkenmikrometers läßt ſich aber auch jede andere Methode der Meſſung der elektriſchen Dichtigkeit auf C anwenden.

Zu einer genaueren Verſuchsreihe wandte Rieß die Torſionswage an. Er fand auf dieſe Weiſe, daß wenn dem iſolirten Syſteme CB eine elektriſche Ladung mitgetheilt worden iſt (die abgeleitete Kugel des Funkenmikrometers war entfernt), während die Condenſatorplatte entfernt war und man mit 1 die elektriſche Dichtigkeit bezeichnet, welche ſich auf C befindet, ſo wird bei Annäherung der Condenſatorplatte auf verſchiedene Entfernungen die Dichtigkeit auf c in folgendem Verhältniß verringert.

Entfernung der Platten	2'''	3'''	4'''	5'''	10'''	15'''	20'''	50'''	∞
Dichtigkeit auf C	0,173	2,35	2,86	3,35	0,492	0,595	0,683	0,897	1

Dieſe Reſultate ſtimmen recht gut mit den frühern, mittelſt des Funkenmikrometers erhaltenen, überein.

Als der Verbindungsdraht zwiſchen B und C verkürzt worden war, wurden folgende ſchon ziemlich abweichende Zahlen gefunden.

Entf. d. Scheiben	2'''	3'''	4'''	5'''	10'''	15'''	20'''	50'''	∞
Dichtigkeiten	0,1 5	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	0,688	0,888	1

Auf der Rückſeite der Collectorplatte wird durch Annäherung der Condenſatorplatte die elektriſche Dichtigkeit vermindert. Rieß fand, daß auf der Rückſeite der Collectorplatte, nahe am Rande derſelben, die Dichtigkeit der Elektricität bei Annäherung der Condenſatorplatte in folgendem Verhältniß vermindert wurde.

Entf. d. Scheiben	2'''	3'''	4'''	5'''	10'''	15'''	20'''	50'''	∞
Dichtigkeiten	0,260	0,341	0,412	0,460	0,617	0,713	0,628	0,941	1

Man ſieht alſo, daß auf der Rückſeite der Collectorplatte nahe am Rande die Dichtigkeit der Elektricität durch Annäherung der Condenſatorplatte

weit weniger verringert wird, als am Ende C des in der Mitte normal aufgeſetzten Zuleitungsdrahtes; die Verſtärkungszahl des Condenſators wird alſo eine geringere ſeyn, wenn der zu unterſuchende Körper an den Rand, als wenn er in der Mitte der Collectorplatte angelegt wird*).

Größere Condenſatorplatten laſſen eine größere Condenſation der Elektricität zu als kleinere, wie dies ſchon Munk of Roſenſchöld gezeigt hat.

Mit Platten von 52‴ Durchmeſſer wurden Verſuche möglichſt unter denſelben Umſtänden angeſtellt, wie ſie bei obigen Verſuchsreihen waren, namentlich war die normale Ableitung der Collectorplatte in beiden Fällen dieſelbe. Es wurde nur die Verminderung der elektriſchen Dichtigkeit beobachtet, welche bei Annäherung der Condenſatorplatte am Ende des normalen Zuleitungdrahtes (alſo an der Kugel C?) ſtattfindet. In folgender Tabelle ſind die mit der kleinen Platte erhaltenen Reſultate mit der entſprechenden, an der größern erhaltenen, zuſammengeſtellt.

Entfernung der Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	∞
Dichtigkeit an der Ableitung des kleinen Condenſators	0,232	0,330	0,393	0,443	0,688	0,768	1
Dichtigkeit an der Ableitung des großen Condenſators	0,155	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	1

Man ſieht alſo, daß die Dichtigkeit der Elektricität an der normalen Ableitung der kleinen Platte durch Annäherung der Condenſatorplatte nicht ſo ſtark vermindert wird, als bei Anwendung größerer Platten, daß alſo auch bei Condenſatoren mit größeren Platten eine ſtärkere Verdichtung der Elektricität auf der Vorderſeite der Collectorplatte ſelbſt möglich iſt, als bei kleineren.

Die Dichtigkeit der Elektricität auf die Collectorplatte hängt auch ab von der Art und Weiſe, wie die Condenſatorplatte abgeleitet iſt.

*) Dieſer Schluß ſcheint mir nicht ganz richtig. Die Verſuche beweiſen, daß, wenn man die conſtante Elektricitätsquelle bei C anhält, alsdann die Verſtärkungszahl größer ausfällt, als wenn man mit der conſtanten Elektricitätsquelle die Rückſeite der Collectorplatte nahe am Rande berührt. Daß es aber einerlei iſt, ob man mit der conſtanten Elektricitätsquelle die Kugel C oder direct die Mitte der Collectorplatte berührt, iſt noch nicht bewieſen, und dies hätte bewieſen ſeyn müſſen, wenn obige Ausſage wahr ſeyn ſoll.

Bei den letzten mit den kleinen Platten angeſtellten Verſuchen war die Ableitung der Condenſatorplatte normal auf ihre Ebene; nun wurde aber der Ableitungsdraht an die Seite des Plattenfortſatzes angebracht, ſo daß derſelbe ungefähr 5‴ von der Platte entfernt, mit der Ebene derſelben parallel lief. (Aus dieſer Beſchreibung iſt mir die Anwendung nicht recht klar geworden. M.)

Es wurde nun die Dichtigkeit der Elektricität am normalen Fortſatze der Collectorplatte für verſchiedene Entfernungen des Condenſators beobachtet, und die Reſultate mit denen zuſammengeſtellt, die bei normaler Ableitung der Condenſatorplatte erhalten worden war.

Entfernung der Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	∞
Dichtigkeiten (parallele Ableitung)	0,190	0,269	0,340	0,408	0,597	1
Dichtigkeiten (normale Ableitung)	0,232	0,393	0,393	0,443	0,688	1

Bei parallel mit der Condenſatorplatte laufenden Ableitungsdrahte findet ſich für jede Entfernung der Platten eine geringere Dichtigkeit an der normalen Ableitung der Collectorplatte, als wenn die Ableitung der Condenſatorplatte normal iſt; bei paralleler Ableitung der Condenſatorplatte iſt alſo der Condenſator einer ſtärkern Anſammlung der Elektricität fähig, als bei normaler Ableitung derſelben.

Rieß ſuchte nun auch die Menge der auf der Condenſatorplatte gebundenen Elektricität zu beſtimmen. Ich begnüge mich hier, nur die Reſultate ſeiner Verſuche mit dem großen Condenſator anzuführen. Bezeichnet man mit 1 die Elektricitätsmenge auf der Collectorplatte, ſo fanden bei verſchiedener Entfernung der Platten folgende Elektricitätsmengen auf dem Condenſator Statt.

Entfernung d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
Menge d. gebundenen Elektricität a. d. Condenſatorplatte	0,911	0,887	0,854	0,823	0,689	0,612	0,500	0,263

27 **Elektriſche Wirkungen der Flammen.** Die elektriſchen Eigenſchaften der Flamme ſind von Rieß in einem Aufſatze beſprochen worden,

welcher ſich in Poggendorff's Annalen Band LXI Seite 545 findet. Im Eingange giebt er hiſtoriſche Notizen über früher ſchon gemachte Erfahrungen und Anſichten, die über dieſen Gegenſtand ſprechen. Wir wollen hier nur bemerken, daß ſchon Gilbert und Kircher die elektriſchen Wirkungen der Flamme kannten; Prieſtley bewies durch Verſuche, daß die Flamme die Elektricität leite, und Volta vergleicht die elektriſche Wirkung der Flammen mit der Wirkung metalliſcher Spitzen.

In der That läßt ſich die elektriſche Wirkung der Flammen kurz ſo charakteriſiren: Wenn ein elektriſirter Leiter mit einer Flamme verſehen wird, ſo verliert er alsbald ſeine Elektricität, die Elektricität ſtrömt durch die Flamme aus, wie durch eine auf dem elektriſirten Leiter angebrachte Spitze; bringt man dagegen eine Flamme in die Nähe eines elektriſchen Körpers, ſo ſaugt die Flamme die Elektricität gleichſam ein, wie dieß auch eine metalliſche Spitze, wenn gleich in weit geringerem Maaße, thut. Setzt man eine Flamme auf den Knopf einer Leidner Flaſche, welche in der Nähe einer gedrehten Elektriſirmaſchine ſteht, ſo ladet ſich die Flaſche, als ob man den Knopf mit dem Conductor der Maſchine verbunden hätte. — Volta brachte brennenden Schwamm an ſeinen Elektroſcopen an, um gleichſam die Luftelektricität einzuſaugen.

Obgleich Volta richtig erkannte, daß die Flamme leitend ſey, und daß ſie in ähnlicher Weiſe wirkt wie metalliſche Spitzen, obgleich er alſo die Elemente einer richtigen Erklärung auch richtig erkannt hätte, ſo waren doch ſeine Anſichten über die Wirkung der Spitzen ſelbſt zum Theil irrig, indem er glaubte, daß bei Spitzen das Ausſtrömen ſowohl als auch das Einſaugen der Elektricität eine Folge des elektriſchen Windes ſey. Bei der Flamme ſoll der aufſteigende Luftſtrom die Wirkung des elektriſchen Windes erſetzen.

Bei ſtärkerer Ladung der Spitzen tritt freilich der elektriſche Wind auf und begünſtigt auch das Ausſtrömen und Einſaugen der Elektricität, allein die Wirkung der Spitzen wird keineswegs durch dieſen Wind bedingt, ſie findet ſchon Statt bei elektriſchen Ladungen, die zu ſchwach ſind, um den elektriſchen Wind hervorzubringen.

Nach Volta's Erklärung findet bei der elektriſchen Wirkung der Flamme eine wirkliche Mittheilung von Elektricität Statt. Daß die ladende und entladende Wirkung der Spitzen nicht immer auf einem unmittelbaren Uebergang der Elektricität beruht, iſt bekannt; Rieß ſucht dieß nun auch durch Verſuche für Flammen darzuthun, er erklärt die Wirkung der Flamme auf folgende Weiſe.

Von der Flamme ſtrömt fortwährend ein dichter Dampfſtrom auf, der ſich als zuſammenhängende Schicht in die Luft erhebt. Aber er behält dieſe Form nur bis zu einer geringen Höhe. Indem die Luft von allen Seiten

in den Dampf eindringt, und dieſer durch die Glühhitze zerſetzt, ſich mit Theilen der Luft verbindet, wird die continuirliche Maſſe vielfach eingeſchnitten und zerriſſen, und es bleiben von ihm nur Fäden übrig, die ſich mehr und mehr verdünnen und in der Luft zerſtreuen. Von der die Elektricität leitenden Flamme gehen demnach leitende Fäden aus, die von einander durch die gebildeten nicht leitenden Gasarten, und durch heiße Luft getrennt ſind, und nothwendig in Spitzen und Zacken verlaufen. Dies vorausgeſetzt hat man die Flamme als einen guten Elektricitätsleiter zu betrachten, der mit einer Menge, nach allen Seiten in die Luft hinausragenden Spitzen verſehen iſt, und zwar mit ſolchen, die an Vollkommenheit alle in der Natur vorkommenden Spitzen übertreffen. Ueberträgt man auf dieſen Leiter die Erfahrungen, die an unvollkommenen Spitzen gemacht worden ſind, ſo ergeben ſich, nach den ſonſt bekannten Eigenſchaften der Elektricität, die elektriſchen Wirkungen der Flamme mit Leichtigkeit.

Von einem mit Spitzen verſehenen Leiter ſtrömt eine deſto größere Menge die ihm mitgetheilte Elektricität aus, je vollkommener ſeine Spitzen ſind; von der Flamme entfernt ſich auch die geringſte Menge Elektricität. An einer Spitze iſt die elektriſche Dichtigkeit um vieles größer als an jeder anderen Stelle des Leiters, an den Dampfſpitzen der Flamme iſt demnach die Dichtigkeit der Elektricität ſehr groß; die in den Dampfſpitzen angehäufte Elektricität wirkt nun vertheilend auf genäherte iſolirte Leiter. Iſt an den Stellen des iſolirten Leiters, welche den elektriſchen Dampfſpitzen zunächſt liegen, die Anhäufung der angezogenen Elektricität groß genug, ſo wird ſie ausſtrömen und der Leiter bleibt nur mit der Elektricität geladen zurück, welche von der Elektricität der Flamme abgeſtoßen wird, alſo mit ihr gleichnamig iſt; der iſolirte Leiter bleibt alſo mit derſelben Elektricität geladen, welche die Flamme hat, ohne daß dieſe Elektricität von der Flamme zu ihm übergegangen wäre.

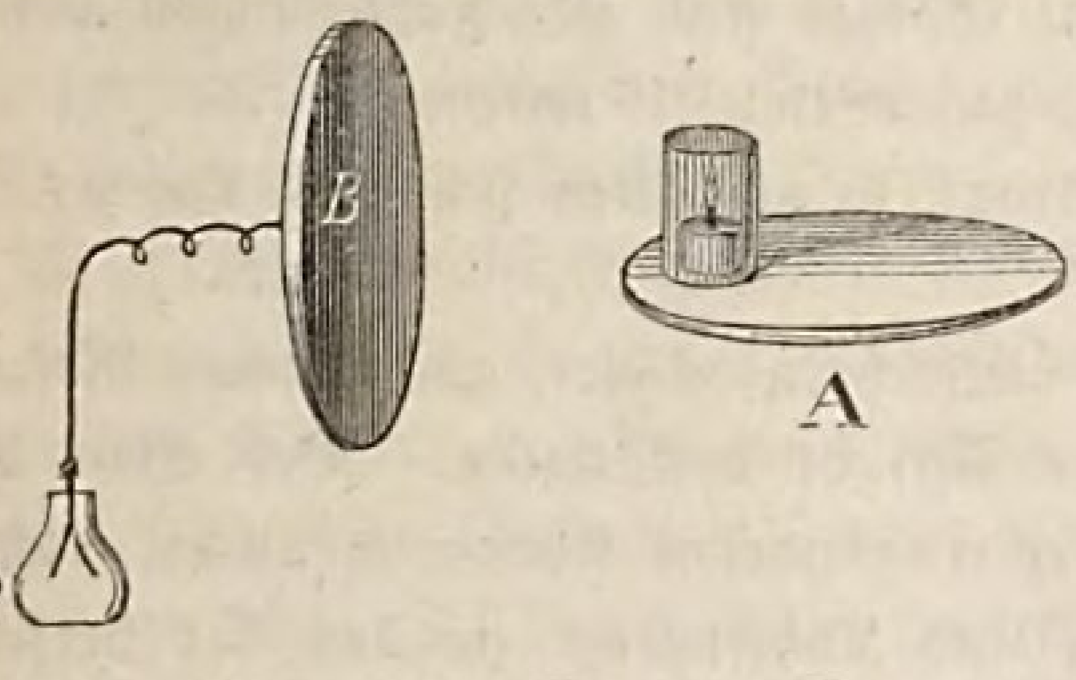
Nähert man umgekehrt der Flamme einen elektriſchen Körper, ſo werden die Dampfſpitzen durch Vertheilung elektriſch, aber ihre Elektricität ſtrömt aus und der iſolirte Leiter, auf welchem ſich die Lampe befindet, bleibt mit derſelben Elektricität geladen, welche der genäherte, vertheilende elektriſche Körper beſitzt, ohne daß dieſe Elektricität von dieſem elektriſchen Körper auf den mit der Lampe verſehenen Leiter übergegangen wäre.

Dieſe Anſicht von dem Hergange der Sache iſt durch folgenden Verſuch gerechtfertigt.

Auf einer gehörig iſolirten Kupferſcheibe *A* (3″ 11‴ Durchmeſſer) ſtand eine kleine metallene Weingeiſtlampe, die mit einem 13 Linien hohen Metallcylinder umgeben war. Ungefähr $3^3/_4$ Zoll von der Lampe entfernt befand ſich eine zweite Kupferſcheibe *B* (Fig. 45), die mit dem

Elektroſcop *b* verbunden, und durch einen iſolirenden Schellackſtiel in einer vertikalen Ebene gehalten wurde. Die Dochtſpitze und die Mitte der Scheibe *B* befanden ſich in gleicher Höhe.

Fig. 45.



Wurde nun die Lampe angezündet und *A* durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektriſirt, ſo zeigte alsbald das Elektroſcop *b* eine Divergenz von $3'''$. Da der Dampf von der Flamme gerade aufſteigt, ſo iſt hier eine directe Ueberführung der Elektricität ſchon unwahrſcheinlich; fände ſie Statt, ſo müßte auch *A* und *B* nothwendig durch Dämpfe in leitender Verbindung ſtehen, das Elektroſcop *b* müßte alſo zuſammenfallen, ſobald man *A* ableitend berührt. Bei ableitender Berührührung von *A* fiel aber das Elektroſcop *b* nur auf $2\frac{1}{2}'''$ zuſammen, es findet alſo zwiſchen *B* und der Lampe keine leitende Verbindung Statt, und die Ladung von *B* geſchieht alſo in der oben angedeuteten Weiſe.

Wurde *B* elektriſirt, und während die Lampe brannte, *A* ableitend berührt, ſo ſank das Elektroſcop langſam zuſammen, blieb aber bei $3'''$ Divergenz ſtehen und zeigte ſelbſt nach 2 Minuten noch $2\frac{1}{3}'''$ Divergenz.

Wurde *B* horizontal über *A* gehalten, ſo ſchlugen die Dämpfe der Lampe an *B* an, folglich beſtand auch eine leitende Verbindung zwiſchen *A* und *B*, in dieſem Falle fiel auch, wenn man im übrigen die eben beſprochenen Verſuche wiederholte, das Elektroſcop *b* alsbald zuſammen, wenn *A* ableitend berührt wurde.

Aus dem Erfolge dieſer Verſuche ergiebt ſich auch, daß die hier wirkſamen Dampfſpitzen weit über die Flamme und den die Lampe umgebenden Metallcylinder hinausragen, ſonſt würde ja dieſer überragende Metallcylinder die Spitzenwirkung vernichtet haben, wie es in der That bei glimmenden Körpern der Fall iſt.

Legt man brennenden Schwamm auf *A*, hält man *B* gehörig iſolirt horizontal über *A*, ſo wird, wenn *A* durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektriſirt wird, das Elektroſcop *b* alsbald divergiren, dieſer Erfolg bleibt aber aus, ſobald man den brennenden Schwamm mit einem metalliſchen Cylinder ($13'''$ hoch, $9'''$ im Durchmeſſer) umgiebt.

Dies beweiſt, daß der hier aufſteigende Rauch nicht leitend iſt. Die Wirkung des glimmenden Körpers wird alſo nicht wie die Flamme durch den Dampf beſtimmt. An der Stelle, wo die Maſſe verbrennt, entſteht eine Grube, deren Rand durch die gebildete Kohlenſäure u. ſ. w. vor der Verbrennung geſchützt bleibt; wo mehrere ſolcher Gruben zuſammentref-

fen, bleibt ein Höcker unverbrannter Maſſe ſtehen; dieſe Höcker werden bei fortſchreitender Verbrennung zugeſpitzt, und auf dieſe überall aus dem brennenden Körper hervorragenden Spitzen ſind alle Folgerungen anwendbar, welche oben für die Dampfſpitzen entwickelt wurden.

Wie der glimmende Feuerſchwamm, ſo verhalten ſich auch Lunte, Räucherkerzen u ſ. w.

Rieß hat dieſe Verſuche noch vielfach modificirt, und immer Reſultate erhalten, welche ſeine theoretiſche Anſicht beſtätigten. Bei allen dieſen Verſuchen iſt die Verbrennung der entzündeten Körper möglichſt vollſtändig erhalten worden. Schwamm und Kohlenkerze (in der Art verfertigt, wie Rauchkerzen) wurden durch häufiges Blaſen angefacht, von Aſche geſäubert und die Weingeiſtlampe nur bei intenſiver Verbrennung gebraucht. Mit dieſer Vorſicht iſt jede Störung der angegebenen Wirkungen vermieden worden. — Wenn dagegen die Verbrennung der unterſuchten Körper nicht vollſtändig iſt, ſo ſieht man einen beſtimmten Verſuch mit der einen Elektricitätsart oft viel leichter und ſchlagender gelingen, als mit der andern, was bei vollkommener Verbrennung nicht der Fall iſt.

Die Scheibe A wurde vertikal und der Scheibe B parallel geſtellt, und dann auf A eine Kohlenkerze (kleine Kegel geformt aus Kohlenpulver und etwas Salpeter, welche Stoffe mit Traganthſchleim angerührt wurden) befeſtigt, welche gegen B hin gerichtet war.

Als die Kohlenkerze über die Hälfte in Gluth und mit Aſche bedeckt war, wurde A mit dem einen Pol einer trocknen Säule berührt. War dies der poſitive Pol, ſo divergirte das Elektroſcop b nur langſam und höchſtens bis zu 2 Linien; berührt man aber A mit dem negativen Pol der trocknen Säule, ſo divergirte der Elektroſcop ſchnell und mit mehr als 5 Linien.

Im Gegenſatz divergirte ein Elektroſcop, welches man mit der Kohlenkerze und der Scheibe A leitend verband, ſchneller und ſtärker, wenn die gegenüberſtehende Scheibe B poſitiv, als wenn ſie negativ elektriſch gemacht war, es hatte alſo den Anſchein, als ob die negative Elektricität leichter aus der Kerze ausſtröme, der poſitive hingegen leichter von ihr aufgeſaugt würde.

Rieß erklärt dieſe ſonderbare Erſcheinung durch die bekannte Erfahrung, daß bei der Verbrennung der Kohle eine Elektricitätsentwickelung ſtattfindet, und zwar, wie ſchon Volta beobachtete, am ſtärkſten bei mäßiger Gluth, bei ſchwachem Luftzuge und abſichtlich verzögerter Verbrennung der Kohle.

Die aufſteigende Kohlenſäure iſt hierbei poſitiv, die Kohle negativ elektriſch, die an und für ſich ſchon negativ elektriſchen Spitzen müſſen alſo kräftiger wirken, wenn ihnen noch — E zugeführt wird, als wenn man

ihnen $+E$ zuführt, wodurch ſich die oben beſprochenen Unterſchiede der Erſcheinung bei poſitiver und negativer Ladung vollſtändig erklären.

Die Kohle wirkt durch ihre negativ elektriſchen Kohlenſpitzen und nicht durch den poſitiv elektriſchen Dampf, ſonſt müßte man die ſtärkere Wirkung bei derjenigen elektriſchen Ladung erhalten, welche bei obigen Verſuchen die ſchwächere Wirkung gab. Dieſer Fall wird jedoch auch beobachtet und zwar an der Davy'ſchen Glühlampe.

Auf der Scheibe *A*, Fig. 45, wurde eine meſſingene Glühlampe mit ſchwach glühender Spirale geſtellt; die Lampe, welche 10''' hoch war, wurde mit einem 13''' hohen Cylindermantel aus Kupferblech umgeben; wurde *A* poſitiv geladen, ſo divergirte das Elektroſcop *b* ſtärker, als bei negativer Ladung von *A*. Wurde dagegen *A* mit einem Elektroſcop verſehen und *B* durch Berührung mit dem einen Pol der trocknen Säule geladen, ſo divergirte das Elektroſcop ſtärker bei negativer Ladung von *B*.

An den eben beſprochenen Aufſatze von Rieß hat ſich eine Polemik über die elektriſche Wirkung der Flammen zwiſchen Rieß und van Rees angeknüpft (P. A. LXXIII, Seite 41 und 307). van Rees bekämpft zunächſt die Exiſtenz der Dampfſpitzen. Dabei ſtützt er ſich darauf, daß dieſe Dampfſpitzen nicht ſichtbar ſeyen, wenn man den Schatten der Flamme betrachtet, welchen man erhält, wenn man in eine dunkle Kammer das Licht durch den Beleuchtungsapparat eines Sonnenmikroſcops einfallen läßt und die Flamme in den ſtark divergirenden Lichtkegel bringt.

Dagegen ſagt Rieß, wer ſich die Dampfſpitzen ſo denkt, daß ſie einen Schatten werfen können, der darf ſie von vorn herein verwerfen, ohne den erwähnten Verſuch anzuſtellen. Es iſt aber eine Thatſache, daß über der elektriſch wirkenden Flamme eine Dampfſäule ſteht, welche die Elektricität gut leitet, und ſich dann in die ſchlecht leitende Luft verliert; die kalte Luft wird alſo wohl in die leitende Maſſe einſchneiden und ſie auszacken.

In der That hat dieſe Anſicht die größte Wahrſcheinlichkeit für ſich, und da van Rees ſelbſt ſagt: »eine Flamme iſt im Ganzen genommen (alſo wohl auch die zunächſt über ihn befindliche Dampfmaſſe) als Leiter zu betrachten«, ſo iſt eigentlich kein großer Unterſchied mehr zwiſchen den Anſichten der beiden Phyſiker und der Streit über dieſen Punkt doch faſt nur noch ein Wortſtreit.

Zur Erklärung der Flammenwirkung geht van Rees ebenfalls von der Spitzenwirkung aus; er ſagt, wenn eine Spitze auf den Conductor einer Elektriſirmaſchine aufgeſetzt wird, ſo entſteht ein ununterbrochener Strom elektriſirter Luft, die zunächſt vertheilend auf die nächſten Leiter wirkt.

Zwei Meter von dem mit einer Spitze verſehenen Conductor der Elektriſirmaſchine wurde ein Elektroſcop aufgeſtellt; ſobald gedreht wurde, divergirten die Blättchen, und dieſe Divergenz blieb, als der Conductor ent-

laden wurde; trotz dieſer bleibenden Divergenz hatte aber das Elektroſcop doch keine bleibende Ladung, ſondern die Blättchen divergirten noch in Folge der vertheilenden Wirkung der von der Spitze elektriſirten Luft, welcher durch Entladung des Conductors die Elektricität nicht genommen werden kann. Daß das Elektroſcop wirklich keine bleibende Ladung hatte, zeigte van Rees dadurch, daß die Pendel ſogleich zuſammenfielen, als er das Elektroſcop in ein Nebenzimmer brachte, ſogleich aber wieder divergirten, als er das Inſtrument an ſeine alte Stelle ſetzte. — Bei fortgeſetzter Drehung aber verbreiten ſich die an der Spitze elektriſirten Lufttheilchen weiter, ſie wandern theilweiſe zum Elektroſcop, dem ſie auf dieſe Weiſe eine bleibende Ladung mittheilen.

Gegen dieſes alles iſt wohl nichts einzuwenden.

Van Rees überträgt nun dieſe Anſicht von der Wirkungsweiſe der Spitzen auf die Wirkung der Flammen; durch die Flamme wird die von ihr aufſteigende Luft geladen und kann dann vertheilend auf benachbarte Leiter wirken. Wenn das Elektroſcop *b* bei dem erſten Rieß'ſchen Verſuche, welcher auf Seite 82 beſprochen wurde, bleibend elektriſirt ſchien, ſo war dies nach Rees alſo nur eine Folge der vertheilenden Wirkung der elektriſchen Luft über der Flamme, welche durch Entladung der Platte *A* nicht entladen werden kann, weil ſie ein Iſolator iſt. — Die vertheilende Wirkung, welche von der Flamme ausgeht, meint Rees, ſey viel zu ſchwach, um in der Platte eines genäherten Elektroſcops (alſo beim Rieß'ſchen Verſuche wohl in der Platte *B*) eine ſo ſtarke Anhäufung der angezogenen Elektricität zu bewirken, daß ein Ausſtrömen ſtattfinden könnte, in Folge deſſen das Elektroſcop geladen zurückbliebe. Darüber läßt ſich aber offenbar nicht allgemein aburtheilen, es hängt dies viel zu ſehr von ſpeciellen Verhältniſſen, von den Dimenſionen der Platte, den Dimenſionen des vertheilenden Körpers, der gegenſeitigen Entfernung u. ſ. w. ab.

Der Unterſchied zwiſchen der Anſicht der beiden Phyſiker iſt demnach im Weſentlichen folgender. — Nach Rieß wirkt die aufſteigende, in einzelne Fäden auslaufende leitende Dampfmaſſe vertheilend auf die benachbarten Leiter; nach van Rees dagegen geht die vertheilende Wirkung von der über der Flamme befindlichen nicht leitenden Luftmaſſe her, welche durch die leitende Flamme der Elektricität mitgetheilt wird.

Die Wahrheit mögte wohl zwiſchen beiden Anſichten in der Mitte ſtehen. Es iſt unzweifelhaft, daß über der Flamme eine leitende Dampfſäule ſich bildet und höchſt wahrſcheinlich, daß dieſe in feine leitende Fäden ausgeht. Iſt dieſe Dampfmaſſe mit ihren Spitzen elektriſch, ſo muß ſie auch vertheilend auf genäherte Leiter wirken, wie dies die Anſicht von Rieß iſt. — Wie weit aber die Dampfſäule leitend bleibt, iſt ungewiß; die meiſten durch die Verbrennung gebildeten Gaſe und Dämpfe verlieren

aber bei der Abkühlung ihr Leitungsvermögen; ſie werden aber die von der Flamme mitgebrachte Elektricität behalten, und ſo bildet ſich über der elektriſirten Flamme und ihrem leitenden Theile auch eine elektriſche nicht leitende Gasmaſſe, welche ihrerſeits ebenfalls vertheilend auf genäherte Leiter wirkt, wie dies die Anſicht von Rees iſt.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß bei ſtarker Elektriſirung die Ueberführung elektriſirter Luft und Staubtheilchen ſich der oben beſprochenen Vertheilungswirkung hinzugeſellt, und leicht den weſentlichſten Theil der Ladung und Entladung bewirken kann.

Petrina hat die elektriſche Wirkung der Flamme auf eine ganz eigenthümliche Weiſe zu erklären geſucht (P. A. LVI. 459); er meint, daß der zur Flamme hinzuſtrömende Sauerſtoff nur bei einem beſtimmten elektriſchen Zuſtande eine chemiſche Verbindung eingehe und dieſen Zuſtand bis auf eine beträchtliche Entfernung von der Verbindungsſtelle annehme und behaupte.

Eine Begründung dieſer Anſicht hat Petrina jedoch noch nicht gegeben.

Dritter Abſchnitt.

Die Leidner Flaſche und die Wirkungen des Entladungsſchlages

28 **Abria über einige die elektriſche Entladung begleitende mechaniſche Phänomene.** Wenn man den Entladungsſchlag einer Leidner Flaſche zwiſchen Spitzen übergehn läßt, und unter den Weg des Funkens eine mit einem feinen Pulver beſtreute Glasplatte legt, ſo beobachtet man nach einigen Entladungen, daß das Pulver ſich mit einer gewiſſen Regelmäßigkeit zu Kurven ordnet.

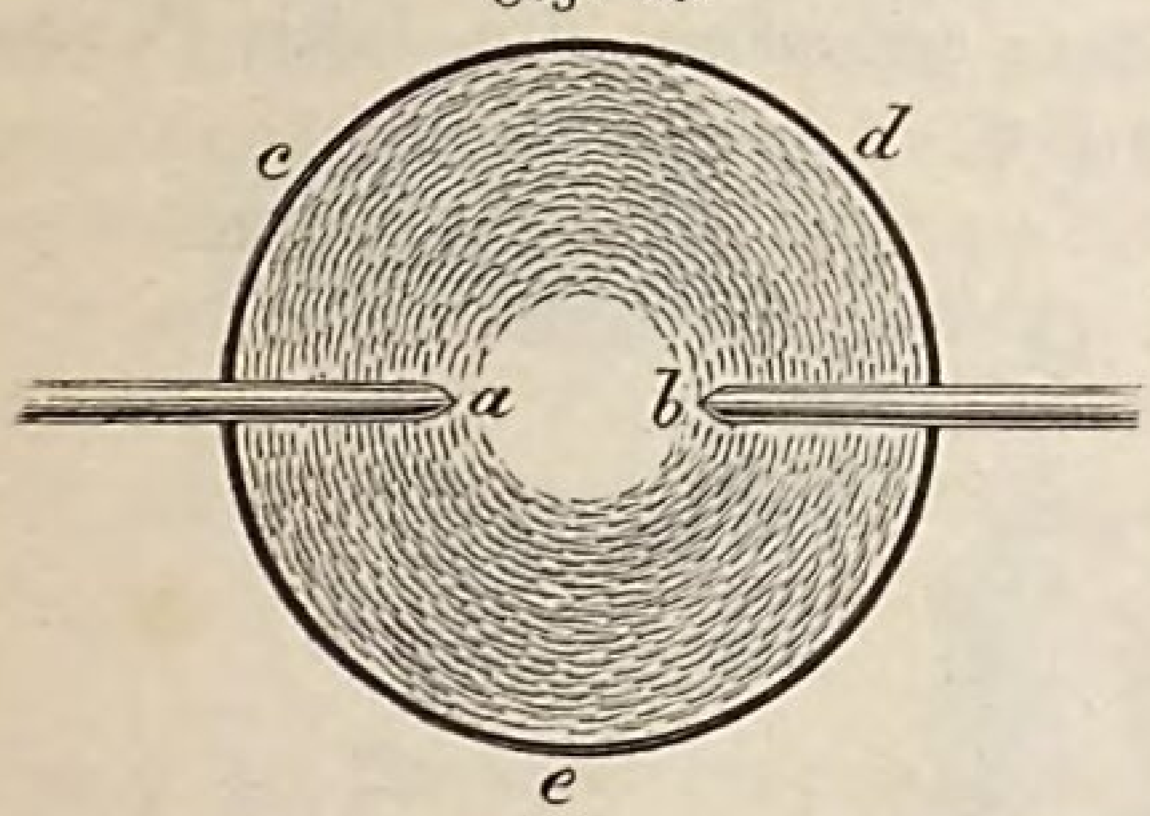
Abria hat dieſe Erſcheinung zuerſt beobachtet und beſchrieben (Ann. de chim. et de phys. LXXIV. 186. P. A. LIII. 589). Durch die Leſung ſeiner Abhandlung erhält man aber durchaus keine klare Vorſtellung davon, welcher Art jene Kurven ſind und dies rührt wohl vorzugsweiſe daher, daß die Figur, welche dazu dienen ſoll, die Sache zu erläutern, ſich mit dem Text gar nicht in Zuſammenhang bringen läßt. Selbſt jetzt, nachdem ich das Phänomen durch den Verſuch kennen gelernt habe, bleibt mir die Figur, welche der Abhandlung beigegeben iſt, noch unverſtändlich.

Um das Phänomen kennen zu lernen, ſtellte ich den Verſuch ſelbſt an. — Die innere Belegung einer Maaßflaſche wurde mit dem Conductor der Maſchine verbunden. Auf den Weg, den die Elektricität von der inneren Belegung zur äußeren zu durchlaufen hat, wurde der allgemeine Henley'ſche Auslader eingeſchaltet. Auf das Tiſchchen deſſelben wurde eine Glasplatte gelegt, und dieſe mit Mennigpulver oder mit Schwefelblüthe, welche gerade zur Hand waren, dünn beſtäubt. Das Reſultat war für beide Pulverarten daſſelbe. Das Pulver ordnete ſich ungefähr ſo wie es Fig. 46 angedeutet iſt.

In Fig. 46 ſind *a* und *b* die beiden Spitzen, zwiſchen welchen die Funken überſchlagen; unter dieſen ſieht man von Oben geſehen die Platte

c d e, auf welchen das gleichmäßig aufgeſtreute Pulver in Folge der wiederholten Entladungsſchläge ſich ungefähr ſo ordnet, wie es durch Striche angedeutet iſt. —

Fig. 46.



Natürlich treten in dieſe Kurven Modificationen ein, wenn man die Entfernung der Platten von der Linie, welche die Spitzen *a* und *b* verbindet, verändert. Die Kurven ſind nicht continuirlich, ſondern es ſind lauter kurze, abgebrochene Strichelchen, wie man in der Figur ſieht, es iſt mir deßhalb nicht wohl begreiflich, wie Abria die Natur dieſer Kurven ſo weit unterſuchen konnte, um zu entſcheiden, daß ſie nicht, wie es auf den erſten Anblick ſcheint, zu Ellipſen gehören, ſondern daß ſie verwickelter ſind.

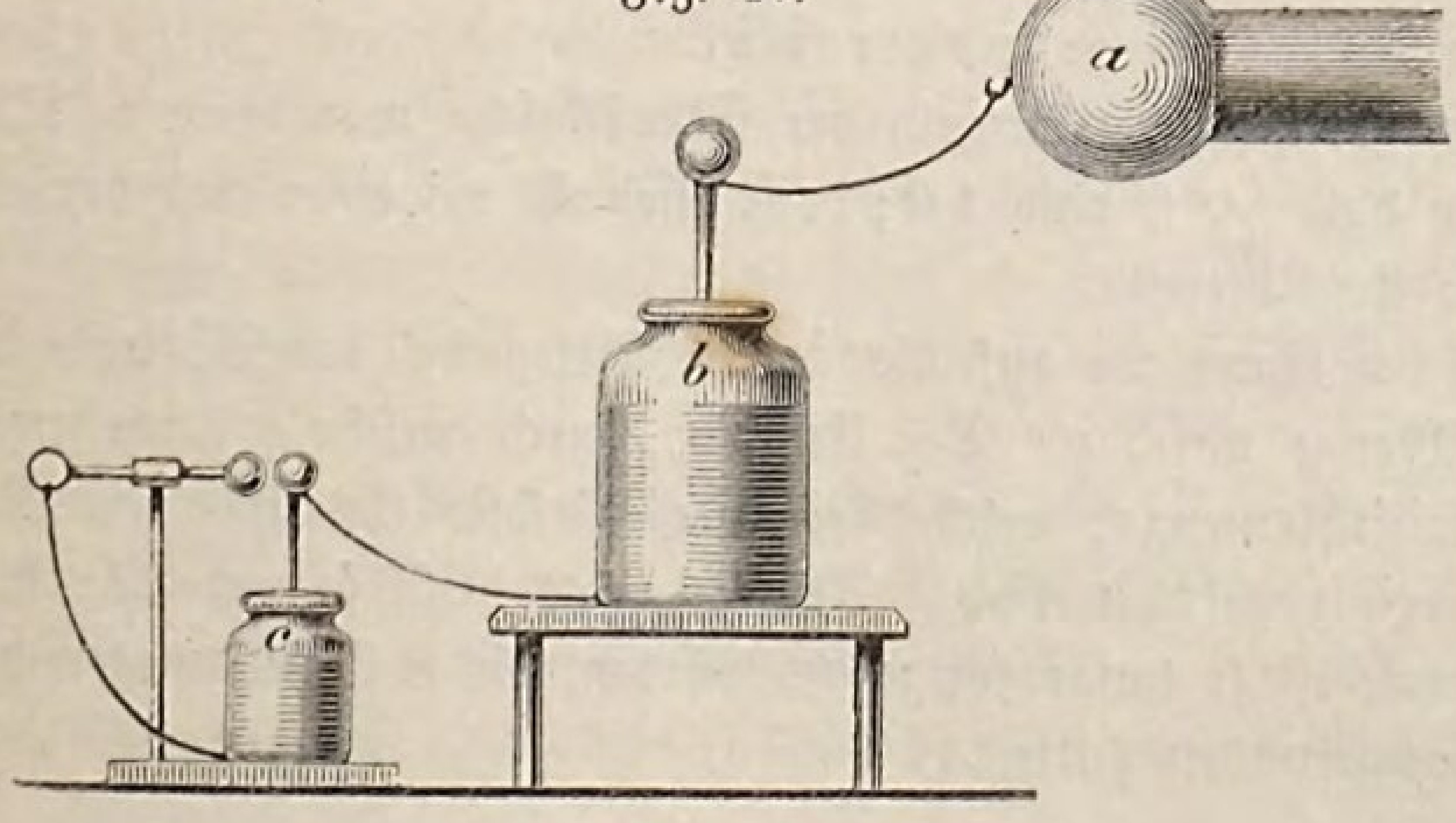
Abria ſchreibt nun dieſe Wirkung der mechaniſchen Erſchütterung zu, welche das Ueberſchlagen des Funkens in die Luft bewirkt, und unterſtützt dieſe Anſicht dadurch, daß er ähnliche Erſcheinungen durch kleine Exploſionen hervorbringt.

Läßt man auf einer bepulverten Marmorplatte kleine Seifenblaſen, die mit Knallgas gefüllt, explodiren, oder bringt man die Erſchütterung durch Aufwerfen von Knallerbſen auf der beſtäubten Platte hervor, ſo erhält man ähnliche Kurven, die jedoch bei Anwendung der Knallerbſen nicht ſo regelmäßig werden, wie bei den Exploſionen kleiner Knallgasblaſen.

Maaß für die Ladung der Batterie. Um die Quantität der auf 29
einer Flaſche oder einer Batterie angehäuften Elektricität zu meſſen, wandte Rieß folgendes Verfahren an. (P. A. 40. 321.)

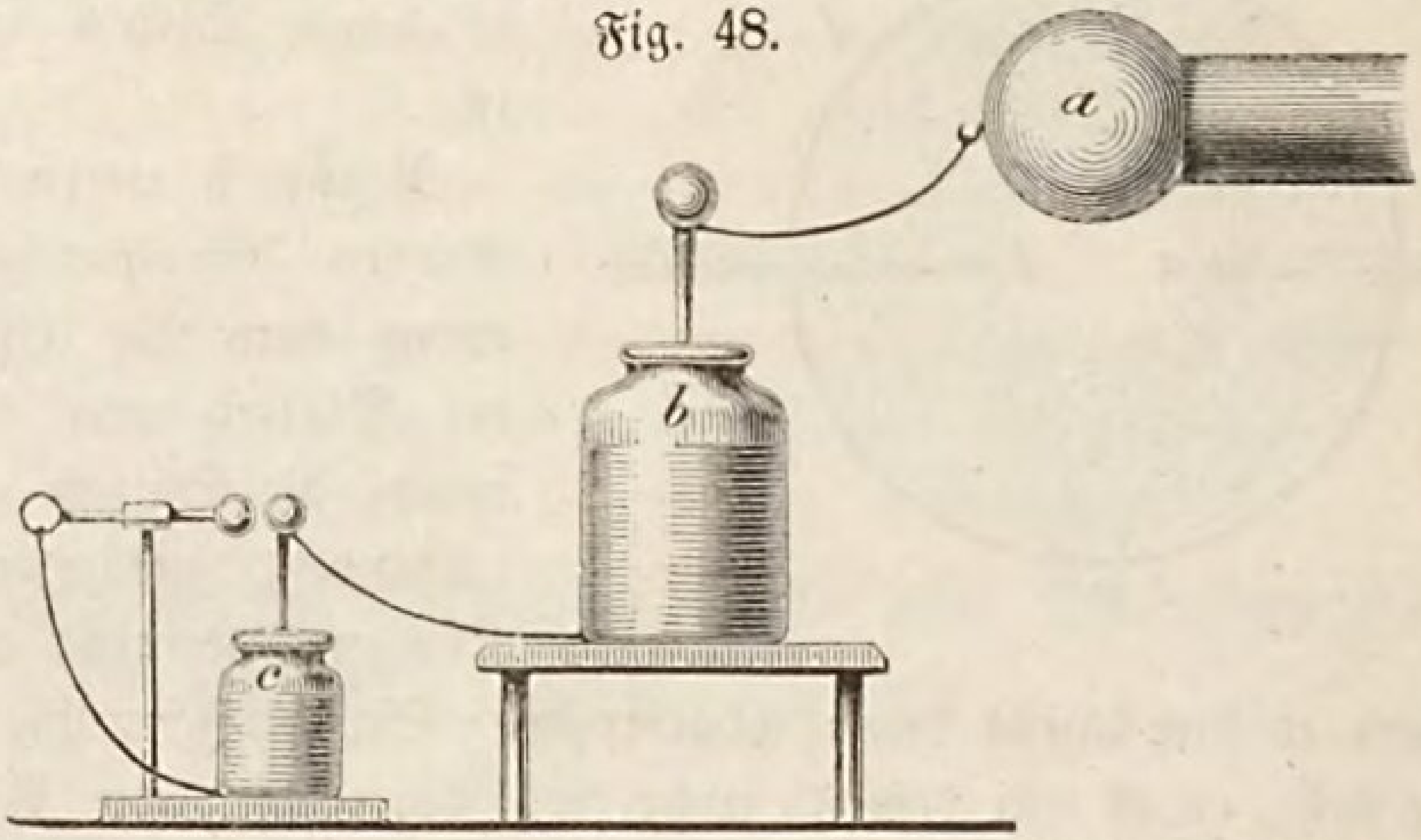
Die zu ladende Flaſche oder Batterie *b* Fig. 47, wurde auf einen durch

Fig. 47.



Glasfüße iſolirten Tiſch geſetzt, und ihre innere Belegung mit dem Conductor a der Elektriſirmaſchine, die äußeren aber mit der inneren Belegung der Lane'ſchen Maaßflaſche c verbunden. Die äußere Belegung

Fig. 48.



der Maaßflaſche wurde durch einen hinlänglich dicken Draht mit einer großen Metallfläche (ein Zinkdach) in Verbindung geſetzt, ſo daß man einer vollkommnen Ableitung verſichert ſeyn konnte.

Wird nun der Batterie von dem Conductor der Maſchine her $+E$ zugeführt, ſo wird die abgeſtoßene $+E$ von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren der Maaßflaſche wandern, und die Ladung derſelben bewirken; hat aber dieſe Ladung eine gewiſſe Grenze erreicht, ſo erfolgt eine Entladung der Maaßflaſche, ſo daß nun von neuem $-E$ von der inneren Belegung der Maaßflaſche zur äußeren der Batterie übergehen kann, weil ja der urſprüngliche Zuſtand der inneren Belegung der Maaßflaſche durch die Entladung bis auf ein unbedeutendes Reſiduum, welches aber bei allen folgenden Entladungen daſſelbe bleibt, wieder hergeſtellt worden iſt. So oft alſo bei fortgeſetztem Drehen der Maſchine eine Entladung der Lane'ſchen Flaſche erfolgt, ſo oft iſt auf die äußere Belegung der Batterie dieſelbe Menge $-E$ übergegangen, ſo oft iſt alſo auch die Ladung der Batterie um dieſelbe Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie iſt alſo der Anzahl der Selbſtentladungen der Maaßflaſche proportional.

Die Entfernung der Kugeln der Maaßflaſche war bei den Rieß'ſchen Verſuchen bald $1/2'''$, bald $1'''$; doch blieb ſie bei einer und derſelben Verſuchsreihe ſtets dieſelbe.

Rieß bezeichnet die auf die äußere Belegung der Batterie übergegangene E Menge durch q. Die Einheit, durch welche q gemeſſen wird, iſt die Elektricitätsmenge, welche bei jeder Selbſtentladung der Maaßflaſche der Batterie zugeführt wird. Alſo $q = 8$ heißt ſo viel als: die Ladung der Batterie iſt ſo lange fortgeſetzt worden, bis 8 Entladungen der Maaßflaſche ſtattgefunden hatten.

Die Dichtigkeit der elektriſchen Ladung der Batterie hängt nicht allein ab von der Quantität der ihr zugeführten E, ſondern auch von der Größe der Oberfläche, auf welcher ſie ſich verbreitet. Wird dieſelbe Elektricitätsmenge auf die doppelte, dreifache u. ſ. w. Oberfläche verbreitet, ſo wird ihre Dichtigkeit auch 2mal, 3mal geringer werden, kurz die Dichtigkeit der E iſt alſo der Größe der Oberfläche der Batterie umgekehrt, der Quantität der zugeführten E aber direct proportional, die Dichtigkeit der E auf einer geladenen Batterie läßt ſich alſo ausdrücken durch

$$\frac{q}{s},$$

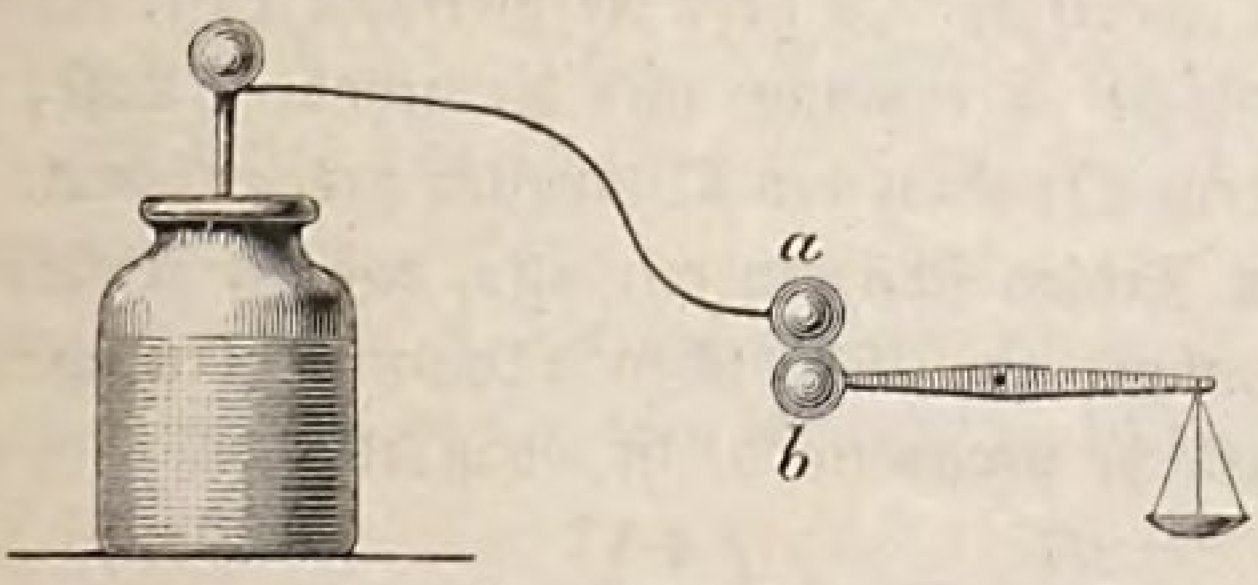
wenn q die Quantität der zugeführten E, s aber die Größe der Oberfläche bezeichnet.

Rieß wandte zu ſeinen Verſuchen Flaſchen an, die ſo viel als möglich gleich waren, ſo daß die Oberfläche der Batterie der Anzahl der Flaſchen proportional iſt. Die Oberfläche einer Flaſche werde als Flächeninhalt angenommen.

Um genaue Reſultate zu erhalten, muß die Ladung der Batterie continuirlich, nicht durch vom Conductor aus überſpringende Funken geſchehen.

Abſtoßung an der inneren Belegung der Batterie. Wenn man 30
mit der inneren Belegung der erſten Flaſche einer Batterie einen Draht verbindet, der mit einer Metallkugel endigt, ungefähr ſo, wie es Fig. 49 angedeutet iſt, ſo wird ſich auch auf dieſer Kugel die freie Elektricität der innern Belegung der geladenen Batterie verbreiten. — Mit dieſer Kugel a ſey nun eine zweite Kugel b in Berührung, die an dem einen Ende eines Glasſtabes befeſtigt iſt, der um ſeine Mitte leicht drehbar iſt, und an ſeinem andern Ende eine kleine Wagſchale trägt. Die Wagſchale iſt ſo belaſtet, daß ſie der Kugel b gerade das Gleichgewicht hält.

Fig. 49.



Der Glasſtab war 12″ lang, und hatte in der Mitte eine Faſſung mit ſtählernen Zapfen, mit welchen er auf den rundgeſchliffenen Kanten zweier Agatplatten auflag.

Es wurde nun 1, 2, 3, 4 Gran auf die Wagſchale gelegt, und ermittelt, welche Quantität E man aus der Maaßflaſche auf die äußere Belegung der Batterie übergehen mußte, bis die Kugel b abgeſtoßen wurde.

Als die Batterie nur aus einer Flaſche beſtand, und 1 Gran aufgelegt

war, erfolgte die Abſtoßung nach 2, als 3 Gran auflagen, erſt nach 4 Entladungen der Maaßflaſche.

Jeder Verſuch wurde 2mal gemacht und aus beiden das Mittel genommen. Dann wurden dieſelben Verſuche auch mit einer Batterie von 2, 3 . . . bis 5 Flaſchen wiederholt. Die Reſultate dieſer Verſuche ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt.

s	1	2	3	4	5
p	q	q	q	q	q
1	2,0	4,5	7,0	8,7	10,0
2	3,5	6,0	10,0	12,0	15,5
3	4,0	7,7	11,7	15,0	20,0
4	4,5	9,0	13,3	17,7	24,0

Die Quantität 4,5 hebt dieſer Tabelle zufolge eine Laſt von 4 Gran, wenn nur 1 Flaſche angewendet wird, während dieſelbe Quantität 4,5 auf 2 Flaſchen vertheilt, nur 1 Gran hebt; der Effect iſt alſo (bei gleicher Quantität) dem Quadrat der Oberfläche umgekehrt proportional, da ja bei doppelter Oberfläche eine 4mal geringere Wirkung entſteht.

Betrachten wir die Verſuchsreihe mit 2 Flaſchen. Die Quantität 4,5 hebt 1 Gran, die doppelte Quantität 9,0 hebt die vierfache Laſt, nämlich 4 Gran; bei gleicher Oberfläche iſt demnach hier die gehobene Laſt, alſo die Stärke der Abſtoßung, dem Quadrat der Quantität proportional.

Aus den eben betrachteten Zahlen ſchließen wir alſo, daß die Abſtoßung der Kugeln direct dem Quadrat der elektriſchen Quantität, umgekehrt aber das Quadrat der Oberfläche proportional iſt, daß alſo

$$p = a\,\frac{q^2}{s^2} = a\left(\frac{q}{s}\right)^2,$$

oder daß die Abſtoßung der Kugeln dem Quadrat der Dichtigkeit der E proportional iſt, da ja $\frac{q}{s}$ dieſe Dichtigkeit bezeichnet.

Wir haben dies Geſetz aus drei willkürlich ausgeſuchten Beobachtungen abgeleitet, wir müſſen noch zeigen, wie weit auch die übrigen Beobachtungen damit übereinſtimmen.

Dieſem Geſetze zufolge wird bei gleicher Flaſchenzahl die doppelte elektriſche Quantität die 4fache Wirkung hervorbringen; es müſſen alſo die Werthe von q, welche in der unterſten Horizontalreihe ſtehen, doppelt ſo groß ſeyn, als die in derſelben Vertikalreihe zu oberſt ſtehenden Werthe

von q. Dies iſt jedoch nur für die mit 2 überſchriebene Vertikalreihe ſtreng wahr; die Quotienten

$$\frac{4{,}5}{2} = 2{,}25;\quad \frac{13{,}3}{7} = 1{,}90;\quad \frac{17{,}7}{8{,}7} = 2{,}03;\quad \frac{24}{10} = 2{,}40$$

weichen mehr oder weniger von 2 ab. Nimmt man aber aus allen 5 Quotienten (den Quotienten $\frac{9{,}0}{4{,}5} = 2$ mitgerechnet) das Mittel, ſo erhält man die Zahl 2,11, welche in der That ſehr nahe gleich 2 iſt.

Die Quotienten, welche man erhält, wenn man mit dem Werthe von q in der oberſten Horizontalreihe in die unter ihnen der zweiten dividirt, ſollten nach dem Geſetz $= \sqrt{2} = 1{,}41\ldots$ ſeyn. Das Mittel aus den 5 Quotienten iſt 1,48.

Wenn man auf dieſelbe Weiſe die Zahlen der erſten und dritten Horizontalreihe vergleicht, ſo erhält man als Mittel aus den 5 Quotienten den Werth 1,82, während dem Geſetz zufolge dieſer Quotient $\sqrt{3} = 1{,}73\ldots$ ſeyn ſollte.

Da nach dem oben ausgeſprochenen Geſetze die Abſtoßung dem Quadrate der Dichtigkeit proportional iſt, ſo muß bei gleicher Wirkung, alſo bei gleichem Werthe von p die elektriſche Quantität im Verhältniß der Fläche wachſen; die Zahlen der mit 2 überſchriebenen Vertikalreihe müſſen alſo doppelt ſo groß ſeyn, als die in gleicher Horizontalreihe unter 1 ſtehenden; oder mit andern Worten, die Quotienten $\frac{4{,}5}{2}, \frac{6{,}0}{3{,}5}, \frac{7{,}7}{4{,}0}, \frac{9{,}0}{4{,}5}$ müßten alle gleich 2 ſeyn. Berechnet man dieſe Quotienten, nimmt man dann aus ihnen das Mittel, ſo erhält man die in der That wenig von 2 abweichende Zahl 1,97.

Vergleicht man auf dieſelbe Weiſe die dritte, vierte und fünfte Vertikalreihe der Werthe von q mit der erſten, ſo erhält man als Mittelwerthe die Quotienten

	3,05	3,84	4,94
ſtatt	3	4	5

Man ſieht, daß die Mittelzahlen ziemlich gut mit dem Geſetz harmoniren.

Schon durch Coulomb's Verſuche iſt bewieſen, daß zwei iſolirte Leiter, welche in Berührung ſind, nachdem ſie eine elektriſche Ladung erhalten haben, ſich mit einer Kraft abſtoßen, welche dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit proportional iſt.

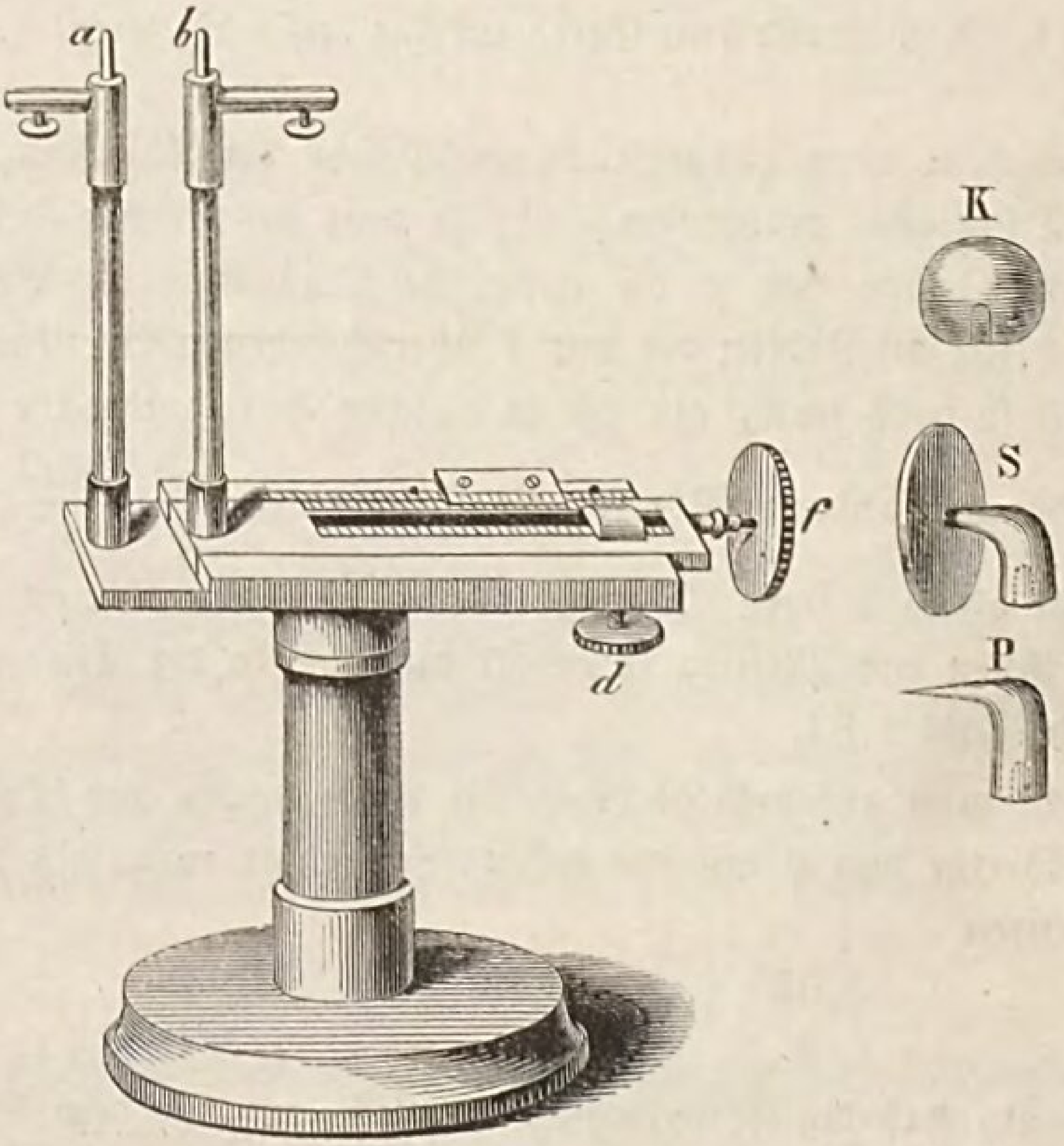
In den bisher beſprochenen Verſuchen iſt nun aber nicht direct die Dichtigkeit E auf die Kugeln, ſondern die Quantität der E gemeſſen worden, welche auf der äußeren Fläche der Batterie gebunden iſt. Die Ueber-

einſtimmung unſerer Reſultate mit dem Coulomb'ſchen Geſetze beweiſ't alſo, daß die Dichtigkeit der freien E der inneren Belegung (welche die Abſtoßung der Kugeln bewirkt) zu der gebundenen auf der äußeren Belegung ſtets in demſelben Verhältniſſe ſteht, oder mit andern Worten, daß der Condenſationscoefficient von der Quantität der E im Innern der Batterie unabhängig iſt.

31 **Schlagweite der Batterie.** Die Verſuche von Rieß über dieſen Gegenſtand (P. A. 40. 332) beſtätigen die Thatſache, welche ſchon durch Lane und Harris ermittelt war, daß die Schlagweite der Batterie die Dichtigkeit der E proportional iſt.

Um die Schlagweite der Batterie genau meſſen zu können, wandte Rieß einen Apparat an, welchen er das Funkenmikrometer nennt, und der in Fig. 50 abgebildet iſt.

Fig. 50.



Jeder der Meſſingzapfen a und b befindet ſich an einem Meſſingſtück, welches einen horizontalen Arm zum Einklammern von Drähten hat und durch eine Glasſäule iſolirt iſt. Der eine Stab iſt feſt, der andere ſteht auf einem Schlitten, welcher mittelſt der Führſchraube f längs einer Theilung bewegt wird. Löſ't man die Schraube d, ſo kann man den Schlitten frei mit der Hand verſchieben, iſt aber d angezogen, ſo ge-

ſchieht die feinere Stellung vermittels der Schraube f, in dem durch Anziehen von d die Mutter der Schraube f auf die untere Metallplatte feſtgedrückt wird. Der ganze Apparat ſteht auf einem Glasfuß von $2^1/_2$ Zoll Länge. Auf die Zapfen a und b können verſchiedene Metallkörper aufgeſteckt werden; Kugeln K von $6^1/_2$, Scheiben S von $8^1/_2$ Linien Durchmeſſer, Spitzen P u. ſ. w.

Bei den zunächſt zu betrachtenden Verſuchen waren Kugeln aufgeſteckt.

Die Verſuche ſind in folgender Weiſe angeſtellt. Der eine Zapfen iſt mit der inneren, der andere mit der äußeren Belegung in gut leitende Verbindung gebracht. Die Ladung der Flaſche oder Batterie geſchah auf die bekannte Weiſe durch die Lane'ſche Flaſche. Es wurde beobachtet, wie viel Funken in der Maaßflaſche überſpringen mußten, bis eine Entladung der Batterie bei einer beſtimmten Entfernung d den Kugeln des Funkenmikrometers erfolgte. Als Einheit für d iſt $1^1/_2$ Linien genommen.

Die Reſultate der Verſuche ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt; s und q haben die bekannte Bedeutung.

s	2	3	4	5
d	q	q	q	q
1	—	3	3,5	4,3
2	3	5,5	7	8,5
3	4,6	8,0	10,1	12,5
4	6,4	10,3	13,5	16
5	7,5	—	16	—

Vergleicht man irgend einen Werth von q mit den in derſelben Vertikalreihe unter ihm ſtehenden, ſo iſt der Quotient nahe derſelbe wie der dem entſprechenden Werthe von d. Nehmen wir z. B. die mit 4 überſchriebene Vertikalreihe, alſo den Fall, wo eine Batterie von 4 Flaſchen angewendet wurde, ſo ſehen wir, daß die Quantität 3,5 die Schlagweite 1 giebt, während die doppelte, die vierfache Schlagweite auch die doppelte, die vierfache Quantität, nämlich $7 = 2 . 3,5$ und 13,5 nahe gleich $4 . 3,5$ erfordert. Die Schlagweite iſt alſo bei einer und derſelben Batterie ſtets der Quantität q der zugeführten E proportional.

Dies beſtätigen auch die anderen Verſuche. Die Zahlen der zweiten Horizontalreihe der Werthe von q dividirt durch die der erſten, geben als Mittel den Quotienten 1,92, alſo nahe 2, welches der Quotient der entſprechenden Schlagweiten 2 und 1 iſt.

Die zweite und dritte, die zweite und vierte, die zweite und fünfte Horizontalreihe der Werthe von q geben auf dieſe Weiſe, verglichen als Mittelwerthe, die Quotienten

1,47 1,95 2,39
alſo nahe $1{,}5 = {}^3/_2$ $2 = {}^4/_2$ $2{,}5 = {}^5/_2$,
welches die Verhältniſſe der entſprechenden Schlagweiten ſind.

Die elektriſche Quantität 10,3 giebt auf 3 Flaſchen vertheilt die Schlagweite 4; dieſelbe elektriſche Quantität (faſt dieſelbe, nämlich 10,1) auf 4 Flaſchen vertheilt, giebt nun die Schlagweite 3. Wenn alſo bei gleicher elektriſcher Quantität die Oberfläche im Verhältniß von 3 zu 4 wächſt, ſo nimmt die Schlagweite im umgekehrten Verhältniß, nämlich von 4 : 3 ab; die Schlagweite verhält ſich alſo direct wie die elektriſche Quantität und umgekehrt wie die Oberfläche, es iſt alſo

$$d = b\,\frac{q}{s}$$

oder mit anderen Worten: die Schlagweite iſt der Dichtigkeit der angehäuften E proportional.

Wenn dies Geſetz allgemein wahr ſein ſoll, wenn alſo die Schlagweite der Oberfläche der Batterie umgekehrt proportional, der elektriſchen Quantität aber direct proportional iſt, ſo muß bei gleicher Schlagweite die elektriſche Quantität in demſelben Verhältniß wachſen wie die Oberfläche.

In obiger Tabelle müſſen demnach die Zahlen einer und derſelben Horizontalreihe ſich ſtets verhalten wie die über ihnen ſtehenden Werthe von s. Es müßte alſo $\frac{5{,}5}{3}$, $\frac{8{,}0}{6}$, $\frac{10{,}3}{6{,}4}$ gleich ${}^3/_2$, ferner $\frac{3{,}5}{3}$, $\frac{7{,}0}{5{,}5}$, $\frac{10{,}1}{8{,}0}$, $\frac{13{,}5}{10{,}3}$ gleich ${}^4/_3$ u. ſ. w. ſeyn, was auch im Mittel nahe zutrifft.

Rieß fand das Geſetz, daß die Schlagweite der Dichtigkeit der angehäuften E proportional iſt, auch für den Fall beſtätigt, daß er die Funken zwiſchen zwei parallelen Metallſcheiben, oder zwiſchen einer Kugel und einer Scheibe überſchlagen ließ.

Nur fand er, daß unter ſonſt gleichen Umſtänden die Schlagweite zwiſchen zwei Scheiben größer iſt, als zwiſchen zwei Kugeln, und daß bei parallelen Scheiben die Funken nicht in der Mitte, ſondern am Rande oder doch in der Nähe des Randes überſchlagen. Für eine Kugel und eine Scheibe iſt die Schlagweite größer als für zwei Kugeln und kleiner als für zwei Scheiben.

32 **Schlagweite der Batterie unabhängig vom Schließungsbogen.** Man war früher der Anſicht, daß die Schlagweite der Batterie von der Natur des Schließungsbogens abhängig ſey, daß ſie größer ſey bei gut me-

talliſcher Schließung, kleiner bei ſchlechter Schließung. Rieß hat gezeigt, daß dies nicht der Fall iſt (P. A. 53. 1.).

Die Verſuche wurden in folgender Weiſe angeſtellt. Der eine Zapfen des Funkenmikrometers war mit der inneren Belegung der Batterie durch einen dicken Kupferdraht verbunden; ein zweiter dicker Kupferdraht führte von dem anderen Zapfen zu dem einen Arm des Henley'ſchen Ausladers, deſſen anderer Arm mit der äußeren Belegung der Batterie in gut leitender Verbindung war. Zwiſchen dem Arme des Ausladers wurde nun der Reihe nach eingeſchaltet:

1) ein 4''' langer, 1/2''' dicker Kupferdraht,

2) ein 102'' langer, 0,052''' dicker Platindraht,

3) eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre 8,3'' lang, 4,5''' dick,

alſo einmal eine ſehr vollkommene, einmal eine metalliſche, aber doch unvollkommene und endlich eine ſehr unvollkommene Schließung.

Die Reſultate der Verſuche ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt

		Einſchaltung in dem Schließungsbogen.		
		Kupferdraht.	Platindraht.	Waſſerröhre.
s	d	q	q	q
3	1	6	6	6
	2	10,2	10,5	10,5
	3	15	15	14,5
4	1	8	8	8
	2	14,5	14	14
	3	21,5	19,7	19,5
5	1	10	10	11
	2	18	19	19
	3	27	25,5	26

Man ſieht aus dieſer Tabelle, daß bei gleicher Flaſchen-Zahl s, bei gleicher Entfernung d den Kugeln des Funkenmikrometers auch der Werth von q immer faſt ganz genau gleich iſt, mag nun der Platindraht, der Kupferdraht oder die Waſſerröhre eingeſchaltet ſeyn, bei gleicher Ladung iſt alſo die Schlagweite dieſelbe, auf welche Weiſe der Schließungsbogen auch zuſammengeſetzt iſt.

Die Schlagweite der elektriſchen Batterie iſt alſo gänz-

lich unabhängig von der Beſchaffenheit des Schließungsbogens, vorausgeſetzt, daß die Flächen, zwiſchen welchen die Entladung ſtattfindet, unverändert bleiben.

Während die Schlagweite durch die Natur des Schließungsbogens nicht alterirt wird, hat dieſe auf die Funken ſelbſt großen Einfluß. Fünf Flaſchen einer Batterie geben bei einer gewiſſen Ladung und bei Anwendung des Kupferdrahts $1\frac{1}{2}$ Linien lange Funken von einem unerträglichen Glanz mit einem ſchmetternden Knalle, während bei Anwendung des Platindrahtes bei gleicher Ladung ein Funke von gleicher Länge, aber ſchwachem Lichte und dumpfem Schalle erhalten wurde und die Waſſerröhre einen kaum merklichen Funken erſcheinen ließ.

33 **Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite verſchwindet.** Wenn die Batterie in der Schlagweite entladen wird, ſo bleibt noch eine merkliche Ladung zurück, welche bei größerer Annäherung der Kugeln einen zweiten Entladungsfunken giebt. Man kann ſich von der Thatſache leicht ſchon mit der Maaßflaſche allein überzeugen. Man ſtelle die Kugeln der Maaßflaſche etwa 2 Linien auseinander und lade bis zum Ueberſpringen des Funkens; nähert man nun die Kugeln einander, ſo wird alsbald ein zweiter Funken überſpringen.

Rieß hat in dem zuletzt erwähnten Aufſatz gezeigt, daß die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite verſchwindet, immer in demſelben Verhältniß zur ganzen Ladung ſteht, und daß ſie dieſelbe ſey, mag nun der Schließungsbogen aus beſſer oder ſchlechter leitenden Metalldrähten zuſammengeſetzt ſeyn.

Der Verſuch war ganz ſo arrangirt wie die Verſuche, deren Reſultat in der letzten Tabelle zuſammengeſtellt ſind; bei einer Verſuchsreihe war der Kupferdraht, bei der anderen der Platindraht im Henley'ſchen Auslader. Nachdem die Entladung in der Schlagweite ſtattgefunden hatte, nachdem alſo ein Theil der Batterieladung verſchwunden war, wurde der Batterie von neuem Elektricität zugeführt, bis abermals eine Entladung in der Schlagweite ſtattfand. Es wurde alſo gezählt, wieviel Funken der Entladungsflaſche nöthig waren, um die erſte Entladung der Batterie zu bewirken, alsdann aber wieviel Funken der Maaßflaſche nöthig waren, um die bei der erſten Entladung verſchwundene Elektricitätsmenge wieder zu erſetzen.

Wie groß unter verſchiedenen Umſtänden die ganze Ladung war, als die Entladung in der Schlagweite erfolgte, ſehen wir aus der vorigen Tabelle, wieviel Elektricität alsdann aber der Batterie von neuem zugeführt werden mußte, um die zweite Entladung und der Schlagweite zu erhalten, ſehen wir aus der folgenden Tabelle.

		Einſchaltung in dem Schließungsbogen.	
		Kupferdraht 4‴.	Platindraht 102″.
s	d	q'	q'
3	1	5	5
	2	8,8	8,7
	3	13	12,5
4	1	6,5	6,5
	2	12,5	11,7
	3	17	17
5	1	9	9
	2	15	16,5
	3	22,5	22,5

Zunächſt ſehen wir aus dieſer Tabelle, daß die Elektricitätsmenge q', welche man nach der erſten Entladung in die Schlagweite der Battrie zuführen mußte, um eine abermalige Entladung in der Schlagweite zu bewirken, alſo die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite vernichtet wird, faſt immer ganz dieſelbe iſt, mag nun der kurze Kupferdraht oder der lange Platindraht eingeſchaltet ſeyn.

Bei 3 Flaſchen und der Entfernung 1 der Kugeln des Funkenmikrometers war die Elektricitätsmenge $q=6$ zur erſten Entladung nöthig; um nun die zweite Entladung zu bewirken, mußte der Batterie abermals die Elektricititätsmenge $q'=5$ zugeführt werden; bei der Entladung in der Schlagweite 1 waren alſo $^5/_6$ der ganzen Ladung verſchwunden, oder mit anderen Worten $\frac{q'}{q}$, war gleich $^5/_6=0{,}833$ .....

Für $s=4$, $d=1$, war $q=8$, $q'=6{,}5$, alſo $\frac{q'}{q}=\frac{6{,}5}{8}=0{,}812\ldots$

Für $s=5$, $d=1$, war $q=10$, $q'=9$, alſo $\frac{q'}{q}={}^9/_{10}=0{,}9$.

Für $s=5$, $d=3$ war $q=27$, $q'=22{,}5$, alſo $\frac{q'}{q}=\frac{22{,}5}{27}=0{,}833\ldots$

Für $s=4$, $d=2$, war $q=14{,}5$, $q'=12{,}5$, alſo $\frac{q'}{q}=\frac{12{,}5}{14{,}5}=0{,}862$.

Man ſieht alſo, daß unter den verſchiedenſten Umſtänden bei der Ent-

ladung in der Schlagweite immer ſehr nahe derſelbe Antheil der ganzen Ladung verſchwindet. Als Mittel aus allen in den beiden letzten Tabellen angeführten Verſuchen ergiebt ſich, daß ſowohl bei guter als auch bei ſchlechter metalliſcher Schließung bei der Entladung in der Schlagweite 0,846 oder $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verſchwinden, daß alſo noch $^{2}/_{13}$ der ganzen Ladung zurückbleiben.

Als Rieß ſtatt der Kugeln parallele Metallplatten auf das Funkenmikrometer aufſetzte, ergab eine Verſuchsreihe für $\frac{q'}{q}$ im Mittel den Werth 0,849; und als noch eine Unterbrechung von 0,3‴ im Schließungsbogen angebracht wurde, ergab ſich $\frac{q'}{q}=0{,}842$, alſo faſt genau derſelbe Werth für die in der Schlagweite verſchwundene Elektricitätsmenge.

Wahrſcheinlich iſt der Werth von $\frac{q'}{q}$ von der Dicke des Glaſes der Batterie abhängig, doch ſind darüber bis jetzt noch keine Verſuche gemacht.

34 **Erfolg bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren.** Aus dieſen Verſuchen läßt ſich der Vorgang leicht bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren beſtimmen, wo eine mit der äußeren Belegung verbundene bewegliche Kugel der feſten Kugel der inneren Belegung bis zur Berührung genähert wird. Wenn die bewegliche Kugel in die Schlagweite, welche wir mit d bezeichnen wollen, gekommen iſt, ſo verſchwinden $^{11}/_{13}$ der Ladung, es bleiben $^{2}/_{13}$ zurück; es kann erſt wieder eine Entladung ſtattfinden, wenn die bewegliche Kugel bis auf $^{2}/_{13}\,d$ genähert iſt, bei welcher Entfernung nun abermals $^{11}/_{13}$ der noch übrigen Ladung verſchwinden; eine dritte Entladung erfolgt, wenn die bewegliche Kugel auf $(^{2}/_{13})^2\,d$ genähert iſt u. ſ. w. Beträgt z. B. die urſprüngliche Schlagweite $1^1/_2$ Linien, ſo erfolgen die Entladungen bei folgenden Entfernungen:

1,5 0,23 0,035 0,0055 Linien,

bei welchen ſchon die dritte nicht mehr von der Berührung zu unterſcheiden iſt. Bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren wird alſo der Schließungsbogen von mehreren Entladungen ergriffen, die nach einander ſtattfinden.

35 **Erfolg bei der Entladung in der Schlagweite.** Bei der Entladung in der Schlagweite verſchwindet eine ſo bedeutende Menge von Elektricität, daß nicht etwa eine geringe Annäherung der Kugeln eine zweite Entladung zur Folge hat, ſondern daß die Schlagweite auf $^{2}/_{13}$ der urſprünglichen reducirt wird. Daß eine ſo große Menge von Elektricität, daß nämlich $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verſchwinden, ſcheint darauf hinzudeuten, daß auch die Entladung in der Schlagweite eine ſucceſſive iſt; durch den Uebergang der erſten Elektricitätsmenge wird die Luft verdünnt, und dadurch der Uebergang neuer Elektricitätsmengen möglich gemacht, welche

nicht hätten übergehen können, wenn der zu überwindende Widerſtand nicht durch die Verdünnung der Luft vermindert worden wäre. Der Uebergang der Elektricität dauert fort, bis die Ladung der Batterie ſo ſchwach geworden iſt, daß bei der conſtanten Entfernung der Kugeln trotz des wegen der verdünnten Luft geringen Widerſtandes kein Funken mehr übergehen kann. Hat nun die Luft zwiſchen den Kugeln ihre gewöhnliche Dichtigkeit wieder erlangt, ſo iſt nun eine bedeutende Annäherung der Kugeln nöthig, um eine abermalige Entladung möglich zu machen. Bei der Entladung in der Schlagweite wird alſo ihre Elektricität ſucceſſiv vernichtet.

Ein Beweis für dieſe ſucceſſive Entladung iſt der Umſtand, daß der Reſt der Entladung viel bedeutender bleibt, daß alſo eine geringere Menge von Elektricität bei der Entladung vernichtet wird, wenn ſchon die erſte übergehende Elektricitätsmenge eine Unterbrechung des Schließungsbogens veranlaßt, wie dies z. B. der Fall iſt, wenn ein dünner, in dem Schließungsbogen eingeſchalteter Draht durch den Entladungsſchlag geſchmolzen wird, ein Fall, den wir ſpäter noch genauer betrachten werden.

Ein weiterer Beweis für die ſucceſſive Entladung in der Schlagweite iſt auch der Umſtand, daß die rückſtändige Ladung viel bedeutender iſt, wenn man in den Schließungsbogen eine Röhre mit Waſſer einſchaltet.

Statt des ſchon auf S. 97 beſprochenen Kupferdrahts oder Platindrahts wurde die daſelbſt beſprochene Glasröhre mit Waſſer eingeſchaltet, und eine mit dieſem Schließungsbogen angeſtellte Verſuchsreihe gab folgende Reſultate.

s	d	Ganze Ladung. q	Hinzukommende Ladung. q'
3	1	6	3,5
	2	10,5	7
	3	14,5	10,5
4	1	8	4,5
	2	14	9
	3	19,5	13,5
5	1	11	5
	2	19	11,7
	3	26	17

Obgleich die Schlagweite unter ſonſt gleichen Umſtänden dieſelbe iſt, wie bei metalliſcher Schließung, ſo iſt doch die Menge der Elektricität, welche bei der Entladung in der Schlagweite verſchwindet, viel geringer als bei metalliſcher Schließung. Während bei metalliſcher Schließung $\frac{q'}{q} = {}^{11}/_{13}$ 0,846 war, iſt ſie hier nur $^{5}/_{8} = 0{,}625$; der Reſt der Ladung betrug alſo dort $^{2}/_{11} = 0{,}154$; hier iſt er $^{3}/_{8} = 0{,}375$, der Rückſtand iſt alſo hier mehr als doppelt ſo groß.

Rieß erklärt dies auf folgende Weiſe. Wenn eine Batterie geladen iſt, ſo ſteht die Elektricitätsmenge auf der äußeren und inneren Belegung in einem beſtimmten Verhältniß. Auf der inneren Belegung iſt ein Ueberſchuß, welcher ein aliquoter Theil der ganzen auf der inneren Belegung befindlichen Elektricitätsmenge iſt. Auch die Menge der auf der äußeren Belegung gebundenen Elektricität ſteht in einem beſtimmten Verhältniß zu dieſem Ueberſchuß. — Im erſten Moment der Entladung wird nun gleich viel Elektricität von der inneren und äußeren Belegung verſchwinden, jenes Verhältniß iſt alſo zerſtört, es iſt jetzt verhältnißmäßig mehr freie Elektricität auf der inneren Belegung als beim Zuſtand vollkommener Ladung, und dadurch wird die fernere Entladung befördert. Iſt nun aber die Waſſerröhre eingeſchaltet, ſo iſt dadurch die Entladung ſo ſehr verzögert, daß der Ueberſchuß der inneren Belegung durch das Glas hindurchwirkend aus den Umgebungen die entgegengeſetzte Elektricität nach der äußeren Belegung ziehen kann, daß er alſo hier vollſtändiger gebunden, und ſein Uebergang zwiſchen den Kugeln des Funkenmikrometers dadurch gehindert wird. Es ſpricht alſo dieſe Erſcheinung ebenfalls ſchon für die ſucceſſive Entladung in der Schlagweite.

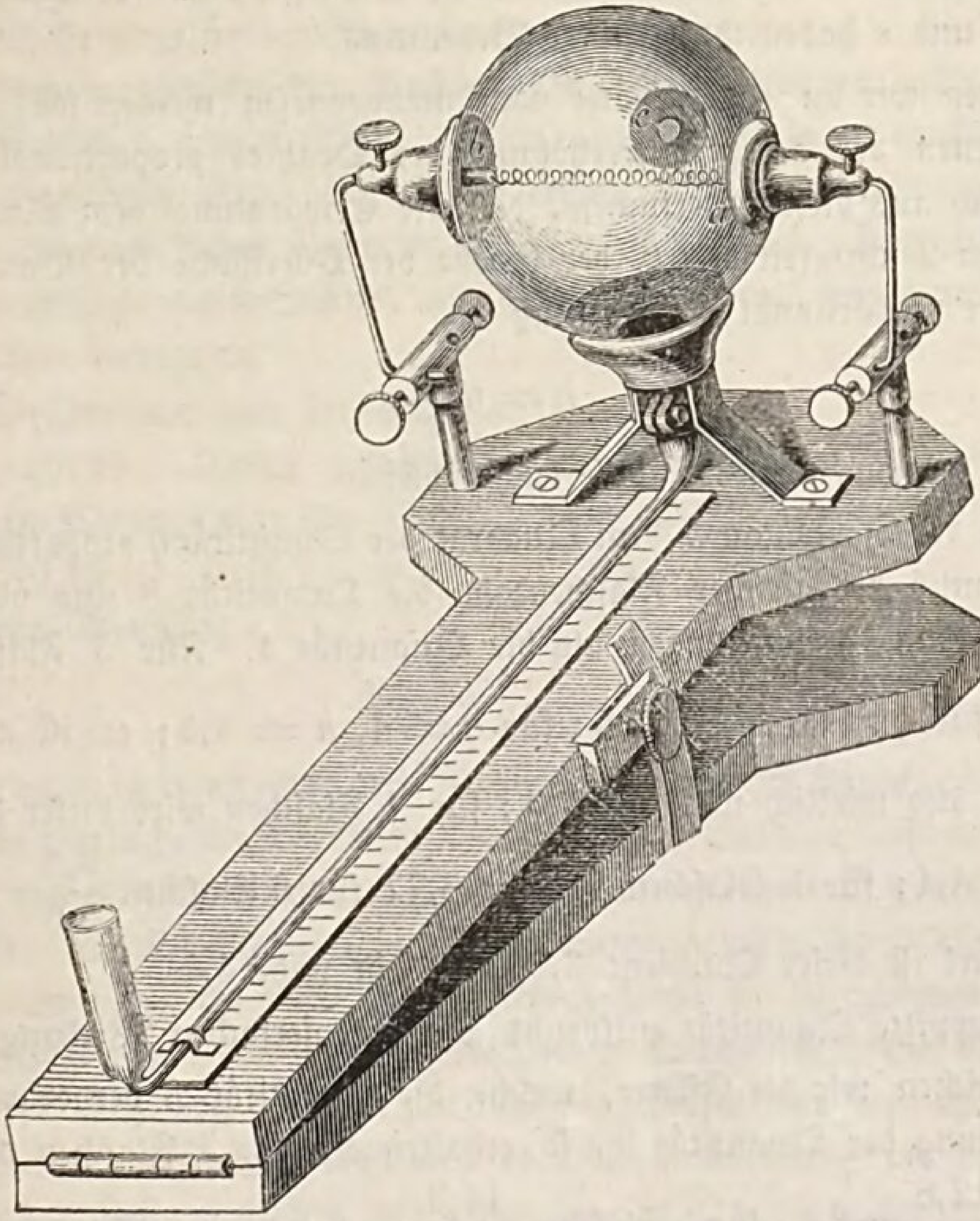
36 **Erwärmung im Schließungsbogen der elektriſchen Batterie.** Um Verſuche über die Erwärmung dünner Dräthe durch den Entladungsſchlag der Batterie anzuſtellen, wandte Rieß nach Harri's Vorgang ein Luftthermometer an, durch deſſen etwas große Kugel der Drath ausgeſpannt war. Die Röhre dieſes Thermometers, eng im Vergleich zur Kugel, war ſchräg nach unten gekehrt, und endigte mit einem aufwärts gebogenen weiteren Gefäße, ſo daß ein Faden dieſer Flüſſigkeit in die Thermometerröhre hineinragte.

Die Skale der Thermometerröhre war in Linien getheilt. Dieſes Thermometer iſt Fig. 51. abgebildet.

Durch den Entladungsſchlag wurde nun der Drath, und in Folge deſſen auch die Luft in der Kugel erwärmt, die Flüſſigkeitsſäule in der Röhre niedergedrückt. Die in Linien ausgedrückte Depreſſion der Flüſſigkeitsſäule iſt als Maaß der Erwärmung zu betrachten.

Eine genauere Beſchreibung des Luftthermometers wird weiter unten folgen.

Fig. 51.



Die Reſultate einer Verſuchsreihe mit einem 0,0547‴ dicken Platindrathe ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt.

s	2	3	4	5	6
q	*h*	*h*	*h*	*h*	*h*
2	1,5				
3	4,3	3	2	1,5	
4	6,7	4,5	3,2	3,0	2,6
5	9,3	7,0	5,2	4,5	3,8
6	13,4	9,7	7,3	6,5	5,5
7		15	11,0	8,8	7,3
8		17,5	14,1	11,3	9,3
9			17,8	14,3	11,7
10				16,7	14,3

h bezeichnet die in Linien ausgedrückte Depreſſion in der Thermometerröhre, q und s haben ihre frühere Bedeutung.

Nehmen wir an (was ſpäter noch nachgewieſen werden ſoll), daß die Depreſſionen der Temperaturerhöhung des Drahtes proportional ſind, ſo ergiebt ſich aus dieſen Verſuchen, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit direct, der Größe der Oberfläche der Batterie aber umgekehrt proportional iſt, oder daß

$$h = n\frac{q^2}{s},$$

dies läßt ſich aus obiger Tabelle leicht ableiten.

Wenn die Depreſſion h dem Quadrat der Quantität q proportional ſeyn ſoll, ſo muß bei gleicher Flaſchenzahl die Quantität 8 eine viermal ſo große Wirkung hervorbringen als die Quantität 4. Für 3 Flaſchen haben wir für $q = 8$, $h = 17{,}5$; für $q = 4$, $h = 4{,}5$; es iſt aber $\frac{17{,}5}{4{,}5} = 3{,}89$, alſo wirklich nahe gleich 4; für 4 Flaſchen wird dieſer Quotient $\frac{14{,}1}{3{,}2} = 4{,}4$; für 5 Flaſchen $\frac{11{,}3}{3} = 3{,}77$ für 6 Flaſchen $\frac{9{,}3}{2{,}6} = 3{,}57$ Im Mittel iſt dieſer Quotient 3,9, alſo ſehr nahe 4.

Die doppelte Quantität entſpricht alſo der vierfachen Wirkung.

Vergleichen wir die Effecte, welche die Quantität 3 hervorbringt, mit der Wirkung der Quantität 9, ſo erhalten wir für 4 Flaſchen den Quotienten $\frac{17{,}8}{2} = 8{,}9$, für 5 Flaſchen $\frac{14{,}3}{1{,}5} = 9{,}53$, im Mittel alſo 9,21. Die dreifache Quantität bringt alſo die neunfache Depreſſion hervor.

Wenn man auf dieſelbe Weiſe die anderen Zahlen der Tabelle vergleicht, ſo findet man, daß wenigſtens im Mittel bei gleicher Flaſchenzahl h der Quadrat von q proportional iſt.

Eben ſo läßt ſich aus der Tabelle zeigen, daß bei gleichem Werth von q ſich h umgekehrt verhält wie s, daß alſo, wenn dieſelbe elektriſche Quantität auf die doppelte der dreifachen Oberfläche vertheilt iſt, die Depreſſion zweimal, dreimal geringer iſt. Dies ergiebt ſich aus der Tabelle wenigſtens im Mittel als ſehr nahe richtig.

Für $s = 3$, $q = 4$ iſt nach obiger Tabelle $h = 4{,}5$. Dieſe Werthe in obige Gleichung geſetzt, kommt

$$4{,}5 = n\frac{16}{3},$$

woraus $n = 0{,}843$.

Berechnet man auf dieſelbe Weiſe den Werth der Conſtanten n aus allen einzelnen Beobachtungen, d. h. aus allen zuſammen gehörigen Werthen

von h, s und q obiger Tabelle, ſo ergiebt ſich n als Mittel aus allen in obiger Tabelle angeführten Verſuchen gleich 0,88.

Einfluß der Dicke der Drähte im Thermometer. Der Werth 37
des Conſtanten n ändert ſich, ſobald ein anderer Draht in die Thermometerkugel eingezogen wird. Rieß wiederholte die Verſuche mit gleich langen aber ungleich dicken Drähten. Ohne die Tabellen, in welchen dieſe Verſuche zuſammengeſtellt ſind, alle hierher zu ſetzen, wollen wir nur die Endreſultate betrachten.

Für Drähte von dem Durchmeſſer

0,119   0,078   0,0547   0,05   0,0225 Linien

fand er im Durchſchnitt den Werth von n gleich

0,18   0,45   0,88   1,02   2,69.

Aus der Gleichung

$$h = n \cdot \frac{q^2}{s}$$

geht hervor, daß wenn man mit Drähten von gleicher Länge, aber ungleicher Dicke Verſuche anſtellt, indem man dieſelbe Batterie (alſo bei gleichem Werthe von s) mit gleicher Ladung (alſo unverändertem Werthe von q) anwendet, daß ſich alsdann die Depreſſionen h verhalten werden wie die Werthe von n, welche dieſen Drahtdicken zukommen. Vergleichen wir aber obige Werthe von n mit den entſprechenden Durchmeſſern der Drähte, ſo finden wir, daß ſich caeteris paribus die Werthe von n, alſo auch die Depreſſionen der Flüſſigkeitsſäule, oder die Erwärmung der Luft in der Kugel des Luftthermometers verhalten wie die Quadrate der entſprechenden Drahthalbmeſſer.

Bezeichnen wir obige Drähte der Dicke nach mit 1, 2, 3, 4 und 5, ſo verhalten ſich die Quadrate der Halbmeſſer des 4ten und 1ſten wie $0,05^2$ zu $0,119^2$, oder wie 0,0025 zu 0,014169; es iſt aber $\frac{0,014169}{0,0025} = 5,66$ umgekehrt wie die Quadrate dieſer Durchmeſſer verhalten ſich die entſprechenden Werthe von n, denn es iſt

$$\frac{1,02}{0,18} = 5,66.$$

Dividirt man das Quadrat des Durchmeſſers des Drahtes 1 der Reihe nach durch die Quadrate der Durchmeſſer der anderen Drähte, ſo erhält man folgende Quotienten

2,33   4,73   5,66   28,

dividirt man aber den Werth von n für den erſten Draht der Reihe nach in den Werth von n, für den 2ten, 3ten u. ſ. w., ſo erhält man folgende Quotienten

2,5   4,88   5,66   15,

welche ſehr nahe den obigen gleich ſind; nur für den dünnſten Draht differiren die Quotienten 28 und 15 bedeutend.

Laſſen wir dieſen dünnſten Draht unberückſichtigt, ſo folgt aus den übrigen Verſuchen, daß ſich die Werthe des Factors n, folglich auch die Depreſſionen im Luftthermometer oder die Temperaturerhöhungen der Luft in der Kugel umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Durchmeſſer der Drähte; oder mit anderen Worten: Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt caeteris paribus dem Querſchnitt des Drahtes nmgekehrt proportional; oder in Zeichen:

$$w = \frac{\alpha \, . \, q^2}{r^2 s},$$

wo $\frac{\alpha}{r^2}$ ſtatt n in die Gleichung geſetzt iſt und α einem conſtanten Factor bezeichnet.

Wenn alſo ein 2mal, 3mal ſo dicker Draht in das Luftthermometer eingezogen iſt, ſo wird die Erwärmung der Luft in der Kugel 4mal, 9mal geringer ſeyn, wenn ſonſt alles unverändert bleibt.

Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt offenbar der im Drahte freigewordenen Wärmemenge proportional, was alſo eben von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel geſagt wurde, gilt auch von der in den Drähten freigewordenen Wärmemenge.

Ein 2mal, 3mal, 4mal ſo dicker Draht hat bei gleicher Länge eine 4mal, 9mal, 16mal größere Maſſe; wenn nun in dieſen dickeren Drähten eben ſo viel Wärme frei wird, als in den dünneren, ſo hat ſich dieſelbe Wärmemenge über eine größere Maſſe zu verbreiten, die Temperaturerhöhung iſt alſo der Maſſe, mithin dem Quadrat des Halbmeſſers umgekehrt proportional, oder in Zeichen

$$T = \gamma \frac{w}{r^2},$$

wo γ ebenfalls einen conſtanten Factor, T hingegen die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnet. Aus dieſer letzten Gleichung folgt

$$w = \frac{T \, r^2}{\gamma},$$

und wenn man dieſen Werth von w dem oben gegebenen gleichſetzt, alſo

$$\frac{T \, r^2}{\gamma} = \frac{\alpha}{r^2} \frac{q^2}{s},$$

ſo kommt

$$T = \frac{\alpha \gamma}{r^4} \frac{q^2}{s} = \frac{\beta}{r^4} \frac{q^2}{s},$$

d. h. in Worten: die Temperaturerhöhung eines Drahtes iſt caeteris paribus der 4ten Potenz ſeines Halbmeſſers umgekehrt proportional, alſo ein 2mal, 3mal ſo dicker Draht wird,

wenn eine ganz gleiche elektriſche Ladung von derſelben Dichtigkeit durch ihn entladen wird, eine 16mal, 81mal geringere Temperaturerhöhung erfahren, vorausgeſetzt, daß die Drahtlänge unverändert bleibt.

Dieſe Beziehungen gelten natürlich nur ſo lange, als man Drähte von derſelben Subſtanz mit einander vergleicht, da ja jede Subſtanz eine andere ſpecifiſche Wärme hat, alſo für ſie ein anderes Verhältniß zwiſchen Wärmemenge und Temperaturerhöhung ſtattfindet.

Bei den bisher beſprochenen Rieß'ſchen Verſuchen waren Platindrähte in das Thermometer eingeſpannt.

Der letzte ganz dünne Draht paßt nicht mehr in das Geſetz, was Rieß durch die Annahme erklärt: das Geſetz gelte nur für gleiche Entladungszeit und dieſe ſey wirklich als gleich zu betrachten, ſo lange der Durchmeſſer der Drähte nicht über eine gewiſſe Gränze abnehme, ſey dies aber der Fall, ſo verzögern die Drähte die Entladung, und eine Folge dieſer Verzögerung iſt dann eine geringere Temperaturerhöhung.

Seine erſten Verſuche zeigten ihm, daß wenn die Länge des Drahtes in der Kugel zunahm, die Erwärmung etwas geringer wurde.

Einfluß der Länge des Drahtes im Thermometer. Wenn der 38
Draht im Thermometer verlängert wurde, ſo zeigte ſich eine kleine Abnahme in der Erwärmung, was auf eine Verzögerung der Entladung hindeutet. — Wenn aber der Schließungsbogen an und für ſich ganz unverändert bleibt und man die Erwärmung an verſchiedenen Stellen deſſelben unterſucht, ſo zeigt ſich die Erwärmung von der Länge der einzelnen Drahtſtücke unabhängig.

Hätte man z. B. ein Stück Platindraht in das Luftthermometer, ein anderes gleich dickes und doppelt ſo langes in den Henley'ſchen Auslader ausgeſpannt, in den Schließungsbogen gebracht, ſo würde eine Entladung der Batterie eine beſtimmte Depreſſion hervorgebracht haben. Hätte man nun die Platindrähte vertauſcht, hätte man alſo den aus dem Thermometer in den Auslader gebracht und umgekehrt, ſo wäre offenbar der Schließungsbogen unverändert geblieben; dieſelbe Entladung wird aber nun die doppelte Depreſſion hervorbringen. — Nun aber war jetzt die doppelte Platinmaſſe im Thermometer, dieſe hatte die doppelte Wärmemenge abgegeben, die Erwärmung des längeren Platindrahtes war alſo dieſelbe, wie die des kürzeren.

Wir wollen eine der Verſuchsreihen näher betrachten, durch welche Rieß dieſen Satz bewieſen hat. Der Radius des Drahtes im Thermometer war 0,036''', ſeine Länge 59,7'''. Der Halbmeſſer des Drahtes im Auslader war 0,058''', ſeine Länge 100,4'''. Es wurde eine Reihe von Verſuchen mit verſchiedener Flaſchenzahl und verſchiedenen Ladungen gemacht, als deren Reſultat

$$h = 0{,}91\,\frac{q^2}{s}$$

erhalten wurde. Nun wurden die Drähte vertauſcht. Eine ähnliche Verſuchsreihe gab das Reſultat

$$h = 0{,}56\,\frac{q^2}{s}.$$

Wäre der zuletzt ins Thermometer geſpannte Draht eben ſo lang geweſen wie der andere, ſo müßten ſich nach dem vorigen Paragraphen die Depreſſionen verhalten wie die Quadrate der Halbmeſſer, man würde alſo im letzten Falle erhalten haben $h = 0{,}35\,\frac{q^2}{s}$. Dieſer Factor von $\frac{q^2}{s}$ verhält ſich zum Factor 0,56 wie 1 zu 1,6. Die Länge des 2ten Drahtes iſt aber ſehr nahe in demſelben Verhältniß, nämlich im Verhältniß von 59,7 zu 100,4 oder 1 zu 1,67 länger.

Die Depreſſion iſt alſo bei der zweiten Verſuchsreihe mit Berückſichtigung der verſchiedenen Durchmeſſer in demſelben Verhältniß größer wie die Drahtlänge zugenommen hat, die Erwärmung in den einzelnen Drahtſtücken iſt alſo von ihrer Länge unabhängig.

Am beſten überſieht man dies, wenn man die wirkliche Temperaturerhöhung der Drähte im Thermometer berechnet; wie dies möglich iſt, ſoll im folgenden Paragraphen gezeigt werden. Für die erſte der eben beſprochenen beiden Verſuchsreihen erhält man dieſe Temperaturerhöhung:

$$T' = 0{,}3975,$$

für die andere

$$T' = 0{,}0592.$$

Dieſe Zahlen verhalten ſich wie 1 zu 6,66; die 4ten Potenzen der entſprechenden Drahthalbmeſſer verhalten ſich wie 1 zu 6,738. Die Erwärmungen verhalten ſich alſo wirklich ſehr nahe wie die 4ten Potenzen der Drahthalbmeſſer und ſind von der Länge der Drahtſtücke unabhängig.

39 **Einfluß der Unterbrechungen im Drathe auf die Erwärmung.** Wenn eine Unterbrechung im Schließungsdrahte ſtattfindet, ſo hat dies einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung. Waren die beiden Drahtenden der Unterbrechung zugeſpitzt, ſo fiel die Erwärmung ſtets geringer aus, als bei ununterbrochener Schließung, und zwar um ſo geringer, je weiter die Drahtſpitzen von einander entfernt wurden. Es erklärt ſich dies leicht dadurch, daß das Reſiduum der Batterie um ſo größer wird, je größer die Strecke iſt, auf welche der Funke überſpringen muß, daß alſo eine geringere Menge von Elektricität in dieſem Falle den Draht durchſtrömt, als wenn keine Unterbrechung ſtattfindet.

Auffallende Erſcheinungen ergaben ſich, als Rieß an den Drahtenden der Unterbrechungsſtelle zwei Meſſingſcheiben von 10,4 Linien Durchmeſ-

ſer anbrachte, die einander parallel ſtanden. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der von Rieß erhaltenen Reſultate:

s	*q*	Die Scheiben		
		in Berührung.	0,1''' entfernt.	1''' entfernt.
		h	*h*	*h*
3	3	4,8	4,7	5,3
	4	7,7	7,0	7,0
	5	11,0	10,9	10,3
	6	15,6	14,5	13,7
4	4	6,0	6,0	7,3
	5	8,5	8,5	9,3
	6	12,2	11,9	12,0
	7	15,6	15,5	14,6

Für 0,1''' Entfernung der Scheiben ſind die Erwärmungen ſämmtlich kleiner, als bei Berührung derſelben, jedoch iſt der Unterſchied weit unbedeutender, als man nach der Größe des Reſiduums hätte erwarten ſollen. Bei noch größerer Entfernung der Scheiben, für welche alſo ein noch größeres Reſiduum bleibt, finden wir aber auffallender Weiſe zum Theil Erwärmungen, welche ſelbſt größer ſind, als für den Fall der Berührung der Scheibe; für ſchwächere Ladungen iſt die Erwärmung größer bei 1''' Entfernung, als bei Berührung der Scheiben, bei ſtärkeren Ladungen giebt umgekehrt die Berührung der Scheiben eine ſtärkere Erwärmung.

Rieß hat dies ſehr ſinnreich auf folgende Weiſe wohl ganz richtig erklärt.

Bei Entfernung der Scheiben treten offenbar zwei Umſtände ein, welche in entgegengeſetztem Sinne auf die Erwärmung des Drahtes im Thermometer wirken. Der eine Umſtand iſt das ſchon erwähnte Zurückbleiben eines Theils der Elektricität, des Reſiduums, in der Batterie, wodurch offenbar die Erwärmung vermindert werden muß. Der andere Umſtand, welcher dagegen die Erwärmung erhöht, bedarf etwas weitläufigerer Auseinanderſetzung.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben kleiner iſt als die Schlagweite der Batterie, ſo ſpringt ein Funken über zwiſchen der Kugel der Batterie und der Kugel des Entladers, ein zweiter aber zwiſchen den beiden Scheiben.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben größer iſt als die Schlagweite der Batterie, ſo kann nun zwiſchen den Scheiben ein Funken über-

ſpringen, wenn die Kugel des Ausladers ſchon mit der Kugel der Batterie in Berührung iſt. Das Ueberſchlagen des Funkens zwiſchen den Scheiben wird hier nur dadurch möglich, daß überhaupt, wie wir oben (S. 96) geſehen haben, die Schlagweite zwiſchen Scheiben größer iſt, als zwiſchen Kugeln.

Bei dem Ueberſchlagen der Funken zwiſchen Scheiben findet eine Verdichtung der Elektricität am Rande derſelben Statt, und dieſe Verdichtung hat höchſtwahrſcheinlich eine Beſchleunigung der Entladung zur Folge, die ſich durch eine Steigerung der Erwärmung merklich macht.

Dieſer letztere Umſtand, welcher die Erwärmung des Schließungsdrahtes erhöht, kann nur dann auftreten, wenn die Entfernung der Scheiben größer iſt, als die Schlagweite zwiſchen den Kugeln. Die Scheiben mögen eine beſtimmte Entfernung haben. Die Schlagweite zwiſchen den Kugeln ändert ſich mit der Stärke der Ladung, ſie iſt proportional dem Bruch $\frac{q}{s}$, für ſchwächere Ladungen iſt ſie klein, für ſtärkere Ladungen nimmt ſie zu, nur für die ſchwächeren Ladungen wird alſo die Entfernung der Scheiben größer ſeyn als die Schlagweite, nur bei ſchwächeren Ladungen kann alſo die erwähnte Beſchleunigung der Entladung die Erwärmung ſo ſtark vermehren, daß dadurch der entgegengeſetzte Einfluß des Reſiduums überwogen wird.

In der That ſehen wir in der vorigen Tabelle, daß h bei einer Entfernung der Scheiben von $1'''$ nur für $s = 3$ und $q = 3$; $s = 4$ und $q = 4$; $s = 4$ und $q = 5$ größer iſt, als h für den Fall der Berührung der Scheiben. In allen dieſen Fällen iſt $\frac{q}{s}$ nicht größer als 1,25. Für Ladungen, die ſo ſtark ſind, daß $\frac{q}{s}$ größer wird als 1,25, ſind die Erwärmungen der letzten Columne ſämmtlich kleiner, als die entſprechenden Erwärmungen bei Berührung der Scheiben.

Iſt die Entfernung der Scheiben noch größer, als die hier mögliche Schlagweite, ſo tritt natürlich gar keine Entladung ein.

Aehnliches ergab ſich, als ſtatt der Scheiben kleine Kugeln angewandt wurden; die Schlagweite zwiſchen den kleinen Kugeln iſt ein wenig größer, als die Schlagweite zwiſchen den größern Kugeln des Ausladers und der Batterie, daher im günſtigen Fall die Erwärmung der für eine Entfernung der kleinen Kugeln von $1'''$ nur unbedeutend höher ausfiel, als bei Berührung derſelben.

40 **Erwärmung bei erſchwerter Entladung.** Wenn an der Unterbrechungsſtelle ein dünner Iſolator eingeſchaltet wird, den der Entladungsſchlag durchbrechen kann, ſo fällt die Erwärmung um ſo geringer aus,

je größer der zu überwindende Widerſtand iſt, wie folgende Verſuchsreihe zeigt.

Die Drahtenden der Unterbrechungsſtelle waren mit kleinen Kugeln (5,7 und 4,4 Linien Durchmeſſer) verſehen; es ergab ſich für $s = 5$ und $q = 8$; Entfernung der Kugeln 0,2 Linien:

		Erwärmung.
Zwiſchen den Kugeln:	Luft	15,4
	1 Kartenblatt . .	12,0
	2 Kartenblätter . .	8,8
	Glimmerblatt . .	4,9.

Aehnliches ergab ſich, als ſtatt der Kugeln Metallſcheiben oder Spitzen die Unterbrechungsſtelle begränzten.

Die elektriſche Entladung bewirkt alſo eine um ſo geringere Erwärmung im Schließungsbogen, je bedeutender das Hinderniß war, welches überwunden werden mußte, bevor die Entladung eintreten konnte.

Es iſt hier kein Hinderniß vorhanden, das, wie bei Einſchaltung eines langen Leiters in den Schließungsbogen auf die Entladung während der ganzen Dauer derſelben verzögernd einwirkt, ſondern ein Hinderniß, das die Entladung ganz unmöglich macht, ſo lange es beſteht.

Die Verminderung der Erwärmung iſt immer viel bedeutender, als daß man ſie dem geringen Reſiduum zuſchreiben könnte; wir müſſen demnach aus obigen Verſuchen den Schluß ziehen, daß ein Hinderniß, welches an irgend einer Stelle des Schließungsbogens eingeſchaltet, vom Entladungsſchlag durchbrochen wird, die Dauer der Entladung durch den ganzen übrigen Schließungsbogen vergrößert.

Bedient man ſich zum Durchbohren von Glimmerblättern ſtets einer möglichſt geringen Anhäufung von Elektricität, ſo gelingt es ſelten, den Glimmer an der Stelle zu durchbohren, wo er gerade den Schließungsdraht unterbricht; faſt immer geht die Elektricität auf der Glimmerplatte eine längere Strecke fort und durchbohrt es an einer Stelle, die ſchon erſichtlich (durch Spaltung) eine geringere Continuität hat. Iſt die Anſatzſtelle der Leitungsdrähte nicht allzuweit vom Rande des Glimmerblattes entfernt, ſo findet die Entladung über den Rand hin Statt. Die Erwärmung im Thermometer fällt um ſo geringer aus, je größer der Weg iſt, den die Elektricität auf der Oberfläche des Glimmers zu durchlaufen hat.

Die Spuren, welche die Elektricität auf das Glimmerblatt zurückläßt, ſind ſehr regelmäßig und zierlich. Rieß hat ſie, ſo wie die entſprechenden Spuren auf Glasröhren, unterſucht.

Spuren, welche die Elektricität auf Glas und Glimmer zu- 41
rückläßt. Rieß brachte eine Glasplatte, 0,37''' dick, ſorgfältig gerei-

nigt und erwärmt, ſo daß ſie ſich am Elektrometer nach allen Richtungen als vollkommen iſolirend erwies, zwiſchen die Spitzen des Schließungsdrahtes, aus welchem das Thermometer entfernt worden war. Die Elektricitätsmenge 15 in 4 Flaſchen geſammelt, entlud ſich über den Rand der Tafel, welche $15\frac{1}{2}'''$ von der Anſatzſtelle der Spitzen entfernt war, und hinterließ auf beiden Oberflächen Spuren von der Anſatzſtelle bis zum Rande.

Dieſe Spuren ſind einfarbig matt, ſie knirſchen bei der Berührung mit einem glatten Körper, und haben unter der Lupe ganz das Anſehen des mit grobem Sande geritzten Glaſes. Prüft man die Tafel am Elektrometer, indem man die Anſatzſtelle zwiſchen den Fingern faßt, ſo ſieht man, daß das Glas in jenen Streifen ſowohl, wie an vielen nicht markirten Stellen, leitend geworden iſt. Bei Behauchung der Tafel werden alle leitenden Stellen ſichtbar, indem ſie unbenetzt bleiben und mehr oder weniger zahlreiche Veräſtelungen bilden.

Nachdem die Glastafel mit Salpeterſäure abgewaſchen und wieder getrocknet worden war, zeigten ſich jene Streifen immer noch leitend.

Ganz Aehnliches ergab ſich bei andern Glasplatten.

Beim Glimmer iſt das Anſehen der elektriſchen Spuren ganz anders. Von der Anſatzſtelle geht auf beiden Oberflächen continuirlich in gleicher Breite ein geſchlängelter Streifen bis zur Durchbohrungsſtelle, der im durchfallenden Lichte hellgrau gefärbt iſt, im ſchief auffallenden Lichte aber als ein zierlich gefärbtes Band erſcheint, welches von zwei ſcharf gezeichneten dunklen Linièn eingefaßt iſt, auf welche eine helle glänzende Franſe folgt; der innere Theil des Bandes zwiſchen den Franſen zeigt verwiſchte Zonen von gelber, blauer, rother und grüner Färbung.

Die Glimmerblätter, welche zu dieſem Verſuche angewandt worden waren, zeigten ſich nach wie vor als gute Iſolatoren, obgleich ſie beim Anhauchen mit unzähligen netzförmigen Verzweigungen bedeckt erſcheinen, die nicht benetzt werden, und welche die Stellen angeben, wo die Elektricität die Oberfläche berührt hat.

Weder in Hinſicht auf die Farbenſtreifen, noch auf die netzförmigen Figuren fand zwiſchen den beiden Oberflächen der Glimmertafel ein weſentlicher Unterſchied Statt.

Bei dem Glaſe ſcheint die Elektricität nur ſprungweiſe in die Maſſe einzudringen und daſelbſt das Kali auszuſcheiden, worauf auch der Umſtand hindeutet, daß die verletzten Stellen nach einiger Zeit ſichtbarer werden, als gleich nach dem Verſuch.

Wird ein Glimmerblatt mit Oel beſtrichen, ſo wird es durch eine Entladung, welche außerdem die Farbſtreifen hervorgebracht haben würde, an der Anſatzſtelle durchbohrt. Es fand ſich dann ein unregelmäßiges Loch

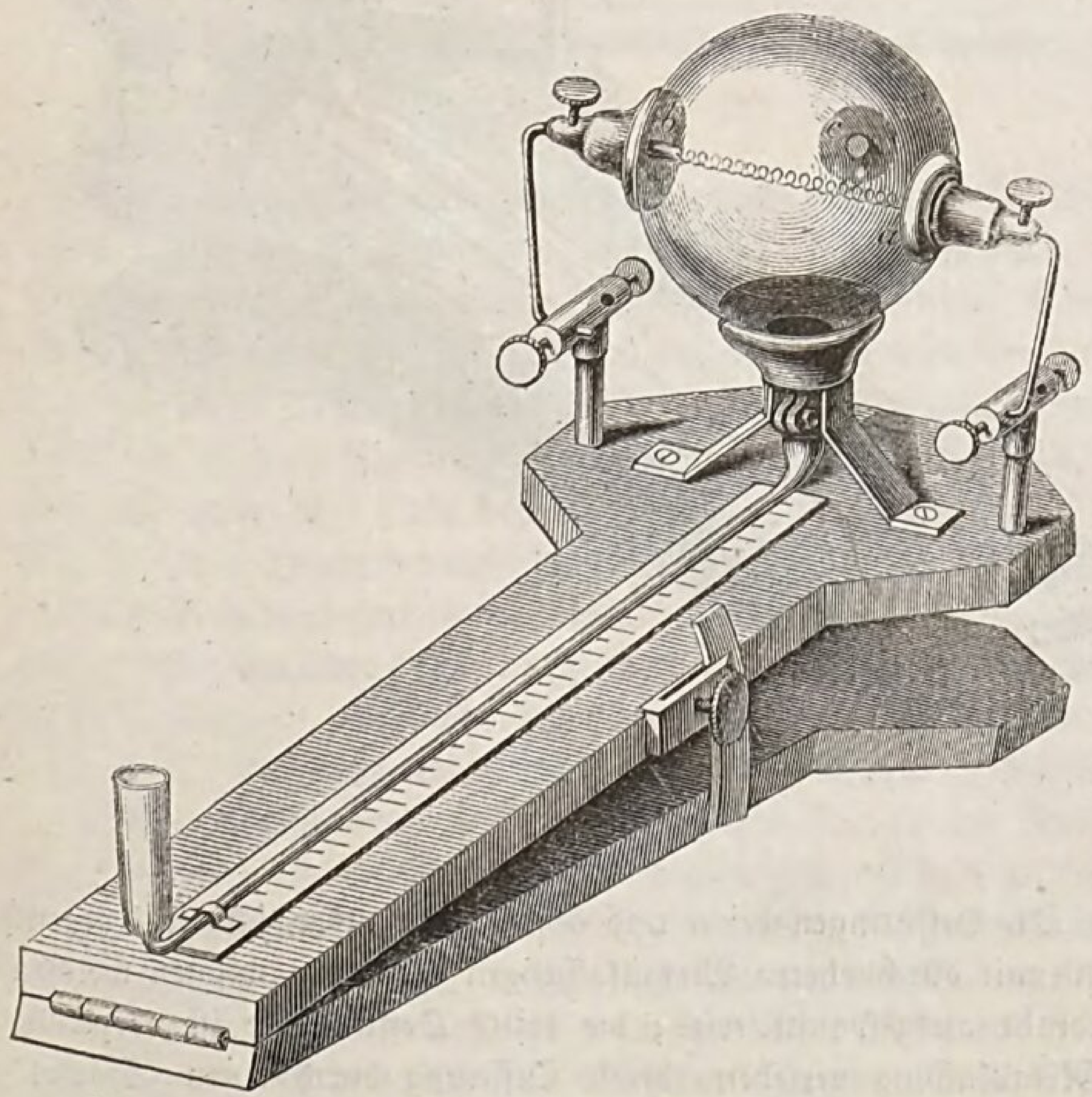
mit verbrannten Rändern und um daſſelbe in geringer Ausdehnung eine Aufſpaltung des Glimmers.

Durch behutſame Verringerung der elektriſchen Anhäufung erhielt Rieß noch mehrere Male trotz der Oelbedeckung Entladung ohne Durchbohrung und dann Farbſtreifen in ziemlicher Länge und Ausbildung nach dem Rande des Blattes oder einer früher durchbohrten Stelle zu, was darauf hinzudeuten ſcheint, daß der Glimmer in der Richtung des Blätterdurchganges die Elektricität beſſer leitet als rechtwinklig auf dieſelbe.

Im Allgemeinen ſind, wie bemerkt, die elektriſchen Spuren auf Glas und Glimmer durchaus unähnlich, es giebt jedoch Glasſorten, welche an der Oberfläche die Elektricität ziemlich gut leiten, auf denen ſich ähnliche Farbſtreifen erzeugen laſſen, wie auf den Glimmer.

Das Luftthermometer. Das Luftthermometer, welches Rieß zu 42
ſeinen Verſuchen anwandte, iſt Fig. 52 nach einem von Kleiner in Berlin verfertigten Exemplare abgebildet.

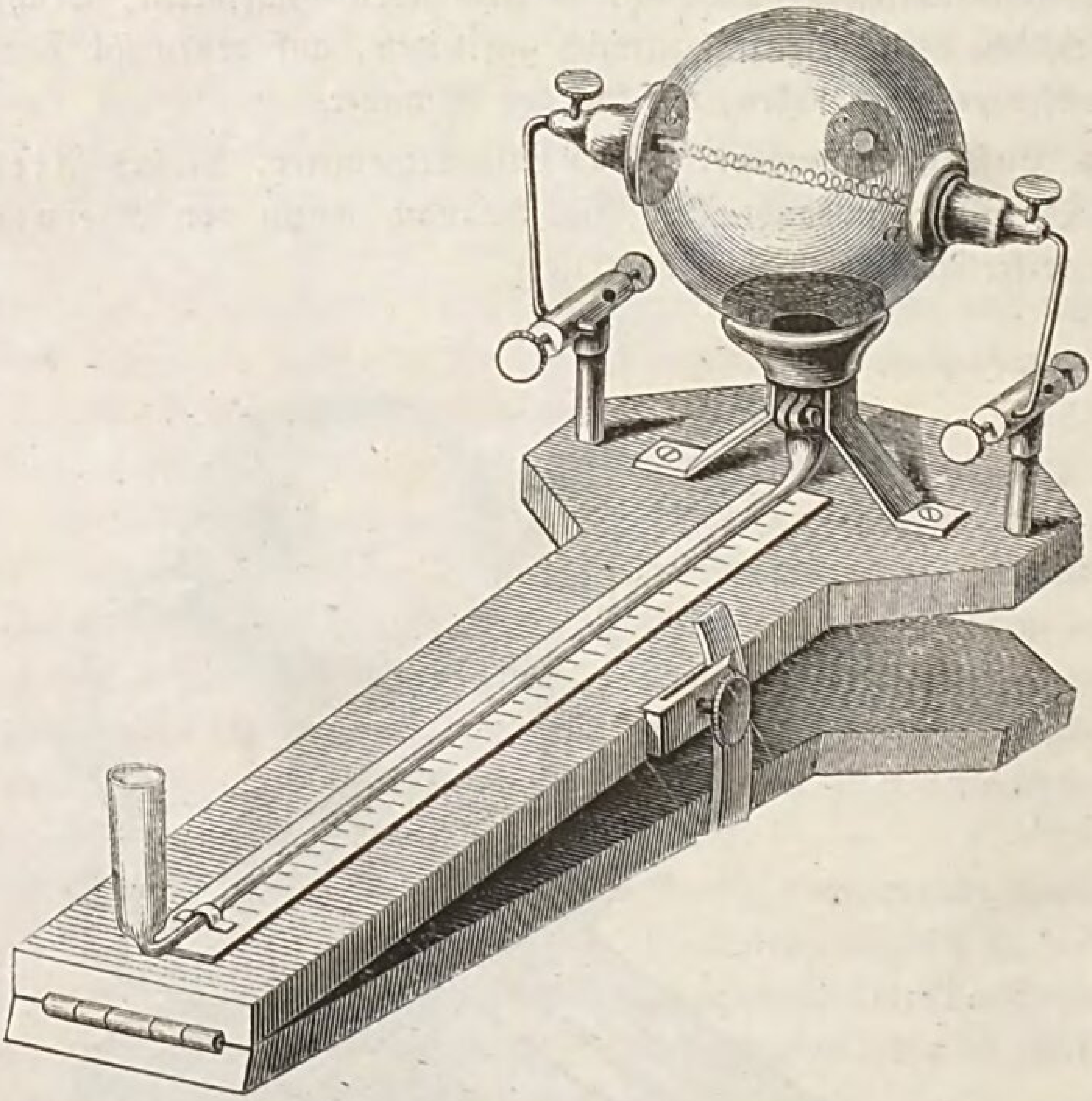
Fig. 52.



Rieß giebt eine Beſchreibung ſeines Luftthermometers an mehreren Stellen ſeiner Abhandlungen und in Dove's Repertorium. Nirgends aber iſt die Beſchreibung ganz klar und hinlänglich durch Figuren erläutert. Es wäre in der That zu wünſchen, daß die Autoren beſſere Zeichnungen ihrer Apparate gäben, wodurch ſeitenlange und doch ungenügende Beſchreibungen, die ohne Noth des Leſers Zeit rauben, vermieden würden.

Fig. 53 ſtellt das Inſtrument in $1/4$ der natürlichen Größe dar. Die Kugel, welche ungefähr 3 Zoll Durchmeſſer hat, iſt an drei Stellen durch-

Fig. 53.



bohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *b* ſtehen einander diametral gegenüber, und ſind mit durchbohrten Metallfaſſungen verſehen, zwiſchen welchen der Platindraht ausgeſpannt wird; die dritte Oeffnung *c* iſt ebenfalls mit einer Metallfaſſung verſehen, deren Oeffnung durch einen Stöpſel verſchloſſen iſt, ſo daß man vor dem Verſuche die Luft im Innern der Kugel mit dem Aeußern ins Gleichgewicht ſetzen kann.

Wie der Draht ausgeſpannt wird, kann man Fig. 54 und Fig. 55 ſe-

hen. Fig. 54 ſtellt einen Durchſchnitt der Kugel in ½ der natürlichen Größe dar, welche durch die Mitte der beiden Oeffnungen bei a und b

Fig. 54.

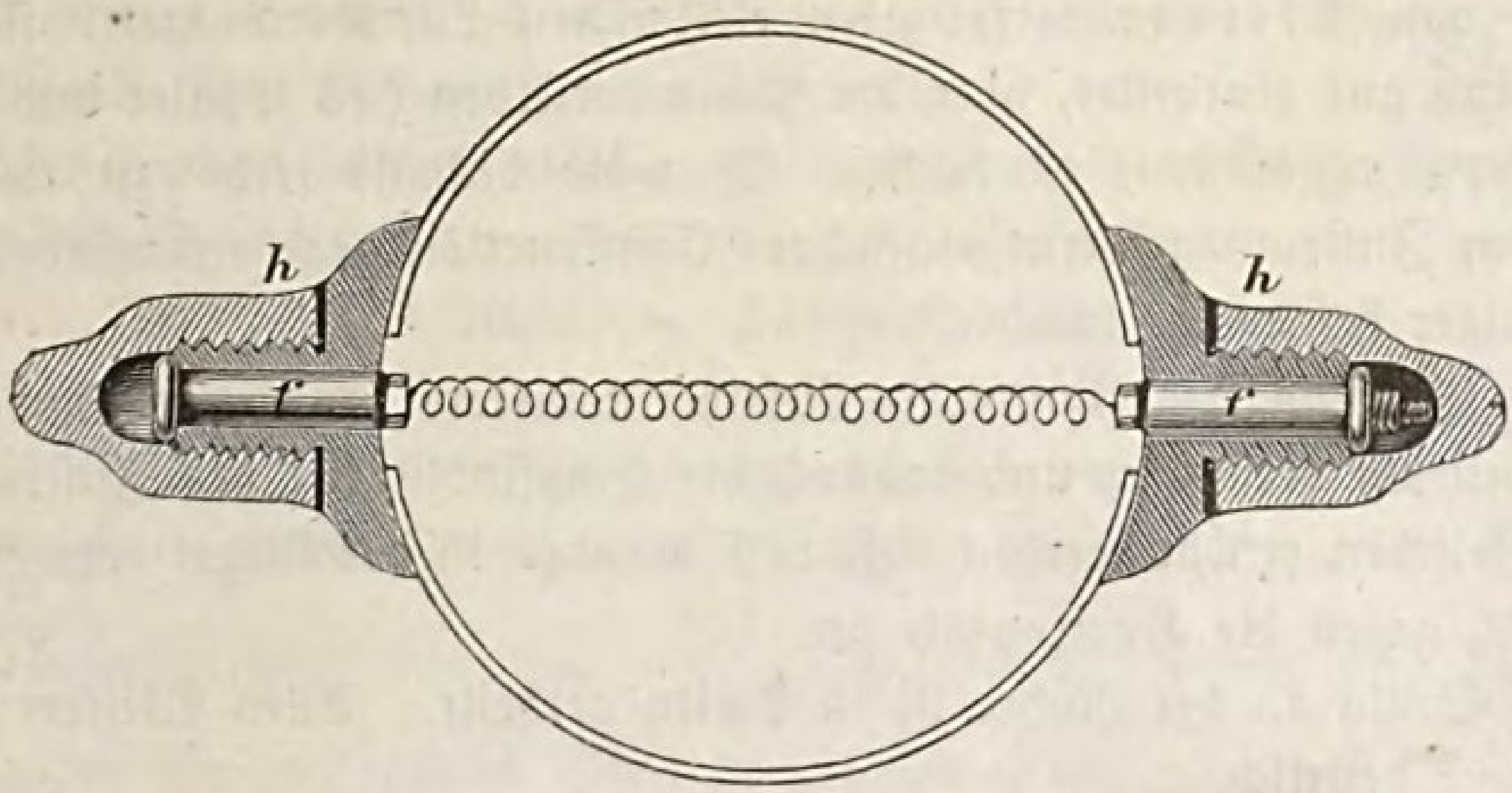
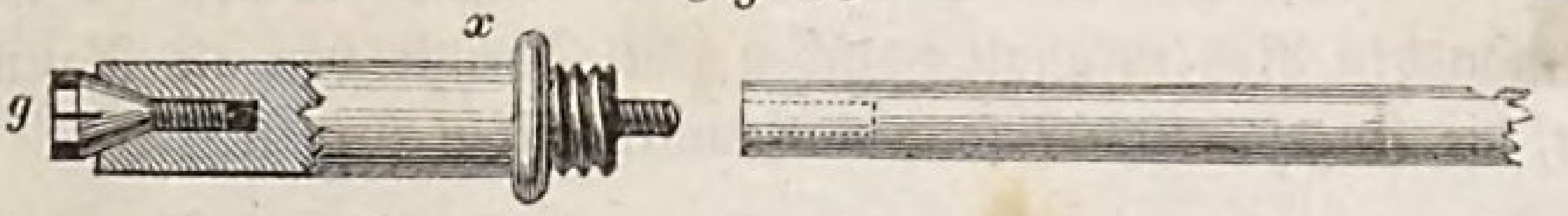


Fig. 55.



geht. Die hier aufgekitteten Faſſungen haben eine ungefähr 2''' weite Oeffnung, in welche der Cylinder f hineinpaßt. Dieſer Cylinder hat auf der nach dem Innern der Kugel gerichteten Seite eine koniſche Vertiefung, in welche ein eingeſchlitzter Metallkegel g eingeſchraubt wird, wie man dies Fig. 55 deutlicher ſieht. In den Schlitz iſt der Platindraht eingeſteckt, welcher durch tieferes Einſchrauben des Kegels feſtgeklemmt wird. Dieſe Vorrichtung nennt Rieß die Kegelklemmen.

Will man den Draht herausnehmen, um einen andern einzuziehen, ſo verfährt man folgendermaaßen. Zunächſt werden die Hülſen h abgeſchraubt. Der Cylinder f der einen Seite iſt nach Außen hin durch eine Schraube verlängert, an welche ſich eine zweite von noch engerem Durchmeſſer anſetzt. Auf dieſe letztere wird nun, wie aus Fig. 55 deutlich wird, ein Stäbchen aufgeſchraubt, deſſen Länge größer iſt, als der Durchmeſſer der Kugel ſammt den angekitteten Metallfaſſungen; iſt dies geſchehen, ſo kann man die Metallplatte x, welche es verhindert, daß der Cylinder f in die Kugel hineingezogen wird, losſchrauben und auf das Stäbchen ſchieben. Man kann nun leicht, den Cylinder f auf der linken Seite der Kugel herausziehend und das angeſchraubte Stäbchen von der andern Seite nachſchiebend, den Draht herausnehmen und nach Belieben einen andern zwiſchen die Kegelklemmen einſetzen. Um ihn wieder einzuziehen, ſteckt man zuerſt das Stäbchen durch die Kügel, zieht mit Hülfe deſſelben denjenigen

Cylinder f, an welchem es angeſchraubt iſt, durch dieſelbe durch, ſchraubt die Platte x auf und entfernt das Stäbchen. Nun können auch die Hülſen h wieder aufgeſchraubt werden.

Die von Kleiner verfertigten elektriſchen Luftthermometer ſind ſehr ſchön und gut gearbeitet, aber der Preis derſelben (25 Thaler und 2 Thaler Verpackungskoſten) iſt hoch. Es wäre deshalb ſehr zu wünſchen, daß dem Inſtrumente eine einfachere Conſtruction gegeben würde, welche es weniger koſtſpielig machte.

Die Neigung der Röhre des Luftthermometers kann, wie man Fig. 53 ſieht, beliebig verändert und dadurch die Empfindlichkeit des Inſtrumentes nach Belieben erhöht werden. Rieß wandte in der Regel eine Neigung von $6\frac{1}{2}$ gegen die Horizontale an.

Die Scala an der Röhre iſt in Linien getheilt. Alles Weitere iſt aus der Figur deutlich.

Der Inhalt der Kugel des Inſtrumentes, welches Rieß gebrauchte, war 40766 Kubik-Linien. Die Weite der Röhre war von der Art, daß wenn man den Röhreninhalt zwiſchen zwei Theilſtrichen als Raumeinheit nimmt, die Kugel 320307 ſolcher Raumeinheiten enthält.

43 **Theorie des Inſtrumentes.** Wenn die Luft in der Kugel erwärmt wird, ſo wird die Flüſſigkeitsſäule deprimirt; dadurch wird einestheils die Spannkraft der Luft, anderentheils das Volumen derſelben vermehrt.

Nun iſt aber die Vermehrung der Spannkraft ſowohl, als auch die Volumenvergrößerung der Temperaturerhöhung proportional, folglich auch die Summe beider Wirkungen; d. h. die Depreſſion iſt der Temperaturerhöhung proportional.

Wir wollen nun zunächſt berechnen, wie groß die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt, welche eine Depreſſion von 1''' bewirkt.

Nehmen wir an, die Temperatur der Luft ſey 15° C., der Barometerſtand ſey 336'''.

Die Flüſſigkeit in der Röhre war 15mal leichter als Queckſilber; ein Barometer von dieſer Flüſſigkeit würde alſo eine Höhe von $15 \times 336 = 5040'''$ haben.

Unſere Röhre ſteht aber nicht vertikal, ſie iſt 6,5° gegen den Horizont geneigt. Die Flüſſigkeitsſäule in einer ſo geneigten Röhre müßte alſo eine Länge von $\frac{5040}{sin\ 6{,}5^0} = \frac{5040}{0{,}113} = 44600'''$ haben, um den Luftdruck das Gleichgewicht zu halten, wir können alſo die 44600''' als das Maaß der Spannkraft der Luft in der Kugel betrachten.

Wird nun die 15° warme Luft um 1° erwärmt, ſo dehnt ſie ſich aus im Verhältniß von

$$(1 + 15 \,.\, 0{,}00365) \text{ zu } (1 + 16 \,.\, 0{,}00365)$$
$$1{,}05475 : 1{,}05840$$
$$1 : 1{,}00346$$

die Luft von 15⁰ dehnt ſich alſo bei einer Temperaturerhöhung von 1⁰ um 0,00346 ihres Volumens von 15⁰ aus.

Wenn ſich aber die Luft nicht ausdehnen kann, ſo wird ihre Spannung in demſelben Verhältniß zunehmen, daraus ergiebt ſich

$$1 : 1{,}00346 = 44600''' : 44754.$$

Eine Temperaturerhöhung von 1⁰ bringt alſo eine Depreſſion von 154 Linien in der Röhre hervor, angenommen, daß dabei keine Volumenvergrößerung ſtattgefunden hätte, eine Depreſſion von 1‴ entſpricht demnach einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{154} = 0{,}00649^0$, wenn nur die Vermehrung der Spannkraft in Betracht gezogen wird.

Der Inhalt der Kugel beträgt 320307 Einheiten der Röhrentheilung. Eine Temperaturerhöhung von 15 auf 16⁰ würde die Luft in der Kugel, wie leicht zu berechnen, um 1108 ſolcher Einheiten ausdehnen, wenn ſich die Luft frei ausdehnen könnte, eine Volumenvermehrung von 1‴ in der Röhre entſpricht alſo einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{1108} = 0{,}0009^0$.

Eine Depreſſion von 1‴ entſpricht alſo, wenn man die Vermehrung der Spannung und des Volumens berückſichtigt, einer Temperaturerhöhung von

$$0{,}00649 + 0{,}0009 = 0{,}0074^0.$$

Von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel kann man auf die Temperaturerhöhung des Drahtes ſchließen. Es ſey t die Temperatur der Luft und des Drahtes vor der Entladung, T die Temperatur, auf welche der Draht durch den Entladungsſchlag ſteigt; t' die Temperaturerhöhung, welche der Draht durch Abgabe ſeines Wärmeüberſchuſſes an der Luft abgiebt, ſo iſt

$$M\,C\,(T - t') = mc\,(t' - t),$$

wenn M die Maſſe und C die ſpecifiſche Wärme des Platindrahtes, m die Maſſe und c die ſpecifiſche Wärme der Luft in der Kugel bezeichnen. Daraus ergiebt ſich

$$T - t' = (t' - t)\,\frac{mc + MC}{MC}$$

oder

$$T' = (t' - t)\left(1 + \frac{mc}{MC}\right) = 0{,}0074\,h\,\left(1 + \frac{mc}{MC}\right)$$

wenn man mit T' die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnete. $t' - t$ iſt die Temperaturerhöhung der Luft, welche ſich nach dem obigen leicht aus der beobachteten Depreſſion berechnen läßt.

Der Inhalt der Kugel iſt 40766 Kubiklinien; das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei 15° iſt 0,00114, die ſpecifiſche Wärme der Luft 0,188, wir haben demnach

$$T' = (0{,}0074 \,.\, h)\left(1 + \frac{40766 \,.\, 0{,}00114 \,.\, 0{,}188}{3{,}14 \,.\, l \,.\, r^2 \,.\, 21 \,.\, 0{,}031}\right),$$

wenn r den Halbmeſſer, l die Länge des Drahtes in der Kugel bezeichnet. 21 iſt das ſpecifiſche Gewicht, 0,0031 die ſpecifiſche Wärme des Platins.

Führt man die angedeuteten Multiplicationen aus, ſo kommt

$$T' = (0{,}0074\, h)\left(1 + \frac{8{,}737}{2{,}044 \,.\, l\, r^2}\right).$$

Nach dieſer Formel kann man jederzeit die Temperaturerhöhung T' des Drahtes berechnen, wenn die entſprechende Depreſſion h beobachtet, und die Dimenſionen des Platindrahtes bekannt ſind.

Für einen Draht, für welchen $r = 0{,}036'''$
$l = 59{,}7'''$
ergab ſich folgende Verſuchsreihe:

s	3	4	5
q	h	h	h
4	5,3	4,0	
5	7,1	6,0	5
6	10,2	8,2	6,8
7	12,8	10,7	8,4
8			11,0

Berechnet man für alle zuſammengehörige Werthe von s, h und q den Werth von n in der Gleichung

$$h = n \,.\, \frac{q^2}{s},$$

ſo erhält man als Mittelwerth für n den Werth 0,91. Für den Fall, daß $\frac{q^2}{s} = 1$, wäre $h = 0{,}91$, die entſprechende Temperaturerhöhung alſo 0,91 . 0,0074 = 0,006734, die Temperaturerhöhung des Drahtes alſo

$$T' = 0{,}006734\ (1 + 55{,}24)$$
$$T' = 0{,}3787$$

Rieß hat für dieſen Fall aus ſeinen Formeln, die auf weniger elementarem Wege entwickelt ſind, bei einer Temperatur von 12,5° $T' =$ 0,3975 erhalten, was unſerem Werthe faſt gleich iſt.

Der Quotient $\frac{mc}{MC}$ wird um ſo größer, je dünner und kürzer der

Draht, je kleiner alſo M wird. In den meiſten Fällen, welche bei ſolchen Verſuchen vorkommen, iſt wie in obigem ſpeciellen Fall M doch ſo klein, daß der Bruch $\frac{mc}{MC}$ bedeutend größer iſt als 1.

Wir haben bei dieſen Betrachtungen eine Temperatur von 15° angenommen. Wäre die Temperatur der Luft nicht 15° geweſen, ſondern 0°, ſo wäre die Luft im Verhältniß von 1 zu 1,0547 dichter, alſo m in demſelben Verhältniß größer geworden.

Von einer Lufttemperatur von 15° ausgehend, hatten wir oben gefunden, daß eine Depreſſion von 1''' einer Temperaturerhöhung von 0,0074° entſpricht. Hätten wir eine Temperatur von 0° zum Ausgangspunkte genommen, ſo hätten wir gefunden, daß eine Depreſſion von 1''' einer Temperaturerhöhung von 0,0070° entſpricht.

Wären alſo die Verſuche bei 0° angeſtellt worden, ſo wäre eine Gleichung ſtatt des Factors 0,0074 der Factor 0,0070, alſo ein Factor zu ſetzen, welcher im Verhältniß von 1,0571 kleiner iſt; dagegen wäre m alſo der Werth des Ausdrucks in der Klammer (da ja 1 gegen $\frac{mc}{MC}$ ſehr klein iſt) im Verhältniß von 1 : 1,0547 größer geworden. Der eine Factor wäre alſo faſt genau in demſelben Verhältniß größer geworden, in welchem der andere abgenommen hat, der Werth von T' würde alſo faſt ganz unverändert geblieben ſeyn, woraus hervorgeht, daß kleinere Schwankungen in der Temperatur der umgebenden Luft ganz unberückſichtigt bleiben können, daß ſie alſo keine Correction des für 15° Lufttemperatur berechneten Werthes von T' nothwendig machen.

Zu demſelben Reſultat führt eine ähnliche Betrachtung auch in Beziehungen auf den Barometerſtand, d. h. obgleich unſere Formel für einen Barometerſtand von 336 Linien berechnet iſt, ſo kann dieſe Formel doch auch für andere Barometerſtände benutzt werden, weil die mittleren Schwankungen des Barometers keinen merklichen Einfluß auf den Werth von T' haben.

Einfluß der Länge des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demſelben. Wir haben oben geſehen, daß wenn derſelbe Entladungsſchlag, durch mehrere hinter einander in den Schließungsbogen eingeſchaltete Drähte geht, daß alsdann die Erwärmung der einzelnen Drahtſtücke von ihrer Länge unabhängig der 4ten Potenz ihrer Halbmeſſer umgekehrt proportional iſt. 44

Sobald jedoch der Schließungsbogen durch Einſchaltung neuer Drähte eine namhafte Verlängerung erfährt, ſo wird dadurch die Erwärmung in allen Theilen des Schließungsbogens vermindert.

Um den Einfluß der Verlängerung des Schließungsbogens zu unterſu-

chen, ſchaltete Rieß mittelſt des Henley'ſchen Ausladers der Reihe nach verſchieden lange Stücke desſelben Kupferdrahtes in den Schließungsbogen ein, während im Thermometer ſtets derſelbe Platindraht blieb. Mit jeder Einſchaltung wurde nun eine Verſuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf Seite 103 angeführte. Wir wollen die Länge des eingeſchalteten Kupferdrahtes (welcher 0,29''' dick war) mit λ bezeichnen.

für $\lambda = 0$ ergab ſich $h = 0{,}78 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 9{,}6'$ » » $h = 0{,}69 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 49{,}0$ » » $h = 0{,}48 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 98{,}4$ » » $h = 0{,}34 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 147{,}7$ » » $h = 0{,}27 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 246{,}4$ » » $h = 0{,}21 \frac{q^2}{s}$.

Wir ſehen aus dieſer Zuſammenſtellung, daß die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einſchaltungsdrahtes, für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h ſind offenbar den Factoren von $\frac{q^2}{s}$ proportional. Für $\frac{q^2}{s} = 1$ beſteht zwiſchen h und λ folgende Beziehung

$$h = \frac{0{,}78}{1 + 0{,}013\,\lambda} \quad \ldots \; 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt dieſe Gleichung $h = 0{,}78$; für $\lambda = 49$ giebt ſie $h = 0{,}476$; für $\lambda = 147{,}7$ giebt ſie 0,267 u. ſ. w., alſo lauter Werthe, die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsreſultaten ſehr gut ſtimmen, ſo daß wir dieſe Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwiſchen h und λ nehmen können.

Dividiren wir Zähler und Nenner dieſer Gleichung mit 0,013, ſo kommt

$$h = \frac{59{,}98}{76{,}9 + \lambda}.$$

In dieſer Form finden wir die größte Aehnlichkeit mit dem Ohm'ſchen Geſetz. Der Entladungsſchlag hatte bei dieſen Verſuchen, außer der veränderlichen Länge λ des eingeſchalteten Kupferdrahtes, noch den übrigen

unveränderlichen Theil des Schließungsbogens, in welchem auch der Platindraht des Thermometers enthalten war, zu durchlaufen.

Jede Verlängerung des Schließungsbogens wirkt vermindernd auf die Temperaturerhöhung, und zwar iſt die Temperaturerhöhung umgekehrt der Länge des Schließungsbogens proportional, wie ſich aus jener Formel ergiebt, wenn wir annehmen daß der unveränderliche Theil des Schließungsbogens eben ſo wirkt, wie ein 76,9′ langes Stück Kupferdraht von der Dicke des Einſchaltungsdrahtes.

Der obige Werth von h entſpricht nur einem ſpeciellen Fall; wir können allgemein ſetzen

$$h = \frac{\frac{a}{b}}{\frac{1}{b} + \lambda} \frac{q^2}{s} = \frac{a'}{L + \lambda},$$

wenn a' für $\frac{a}{b}$ und L für $\frac{1}{b}$ geſetzt wird. Für die Wärmeentwicklung gilt alſo hier daſſelbe Geſetz wie für die magnetiſche Wirkung der galvaniſchen Kette.

L drückt hier offenbar die reducirte Länge des Schließungsbogens aus, d. h. es giebt an, wie lang ein Platindraht ſeyn müßte, welcher bei gleicher Dicke mit dem eingeſchalteten, deſſen Länge λ iſt, denſelben Verzögerungswerth giebt, wie der geſammte Schließungsbogen, mit Ausnahme des im Auslader befindlichen Platindrahtes, deſſen Länge λ iſt.

Dieſe letztere Umwandlung, wodurch das Rieß'ſche Erwärmungsgeſetz eine dem Ohm'ſchen Geſetze ganz gleiche Form erhält, hat Rieß mit ſeiner Formel nicht vorgenommen. Nur im Eingang ſeiner Abhandlung hat er im Allgemeinen darauf aufmerkſam gemacht, daß eine Uebereinſtimmung ſeiner Reſultate mit den magnetiſchen Wirkungen der galvaniſchen Kette nicht zu überſehen ſey, ohne ſie jedoch weiter hervorzuheben und nachzuweiſen, ja er hat in ſeiner Darſtellung, wie er ſelbſt ſagt, abſichtlich Bezeichnungen vermieden, welche an den Galvanismus erinnern könnten, weil die Elektricitätslehre nicht an theoretiſchen Betrachtungen und Analogien, wohl aber an ſicher begründeten Verſuchen Mangel hat.

Die Gleichung 1 auf allgemeine Form gebracht, heißt

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda}$$

woran Rieß folgende Betrachtung anſchließt.

Durch Verlängerung des Schließungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man aber nun ſtatt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes, oder eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre als Zwiſchenleitung ein, ſo ſind die ſtärkſten Ladungen der Batterie nicht mehr im

Stande, auch nur eine Senkung von 0,1''' zu bewirken. Hier aber iſt die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einſchaltung auch des längſten Kupferdrahtes, ſie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus läßt ſich ſchließen, daß wir auch einen Unterſchied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeſchaltet iſt, wenn wir mit ſchärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer ſcheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniß zu ſtehen. Iſt eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewiſſe Elektricitätsmenge von gewiſſer Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, ſo wird die Entladungszeit um $b\lambda$ vergrößert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeſchaltet wird, und die Erwärmung iſt nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda}$$

oder *die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektriſchen Batterie iſt der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schließungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugeſetzten Drahtlänge proportional iſt.*

45 **Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demſelben.** Um den Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung zu unterſuchen, ließ Rieß den eingeſchalteten Kupferdraht fort, welchen er bei den vorigen Verſuchen angewandt hatte, und brachte ſtatt deſſelben ſucceſſiv Platindrähte von verſchiedenen Dimenſionen zwiſchen den Armen des Henley'ſchen Ausladers an. Es ergab ſich nun, daß die Erwärmung im Thermometer deſto geringer ausfiel, je dünner bei gleicher Länge der eingeſchaltete Platindraht war. Die auf dieſe Weiſe erhaltenen Reſultate paſſen in die Formel

$$T = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}} \, \frac{q^2}{s},$$

in welcher ϱ den Halbmeſſer des Drahtes bezeichnet. Dies heißt in Worten ausgedrückt:

Die Erwärmung eines Drahtes durch elektriſche Entladung iſt der Dauer dieſer Entladung umgekehrt proportional; durch Einſchaltung von homogenen Drähten wird die Entladung um eine Zeit verzögert, welche der Länge des eingeſchalteten Drahtes direct, ſeinem Querſchnitte umgekehrt proportional iſt.

46 **Erwärmung im Stamme eines verzweigten Schließungsdrahtes.** Hat man ermittelt, welche Verzögerung der Entladung ein in

den Schließungsbogen der Batterie eingeſchalteten Draht α hervorbringt, hat man auf gleiche Weiſe den Verzögerungswerth eines zweiten Drahtes β ermittelt, ſo kann nun gefragt werden, welches die Verzögerung ſey, welche beide Drähte gleichzeitig nebeneinander als Zweige in den Schließungsbogen eingeſchaltet, hervorbringen.

Die beiſtehenden ſchematiſchen Figuren mögen dazu dienen, deutlicher zu machen, wie dieſe Frage zu verſtehen ſey.

In Fig. 56 ſtelle b die Batterie, t das Luftthermometer, α ein in den Schließungsbogen eingeſchaltetes Drahtſtück dar.

Fig. 56.

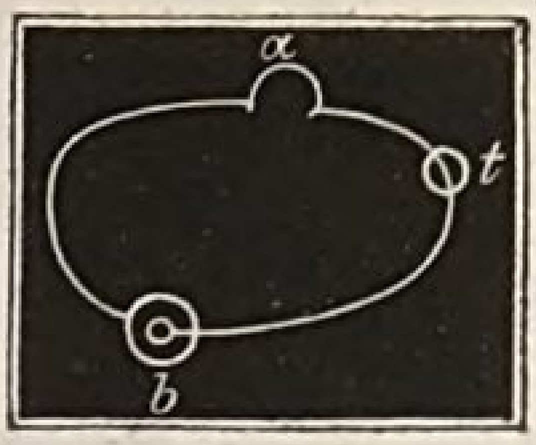


Fig. 57.

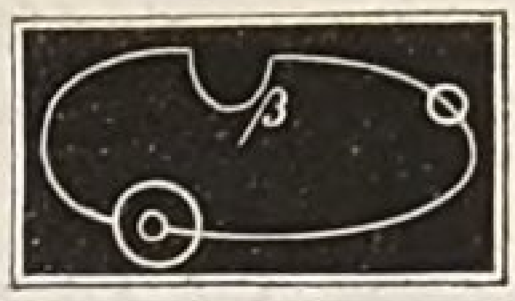
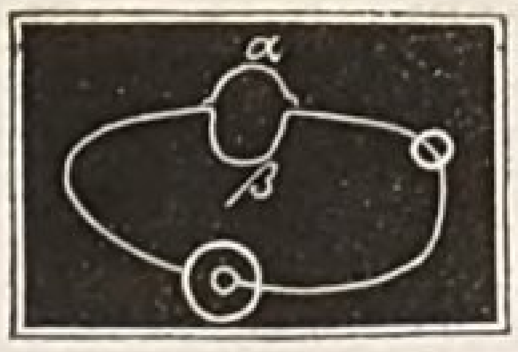


Fig. 58.



In den beiden folgenden Figuren bezeichnen b und t dieſelben Dinge, in Fig. 57 iſt aber ſtatt α der Draht β, und in Fig. 58 ſind beide Drahtſtücken neben einander ſo eingeſchaltet, daß ſie eine Verzweigung bilden.

Wenn man nun für eine beſtimmte Ladung der Batterie die Erwärmung des Luftthermometers bei den Combinationen, Fig. 56 und Fig. 57 kommt, ſo fragt ſich, welches iſt für dieſelbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers bei der Combination Fig. 58.

Rieß hat dieſe Frage im 63ſten Bande, Seite 486 von Poggendorff's Annalen behandelt.

Wie wir ſoeben geſehen haben, läßt ſich die Erwärmung des Luftthermometers für die Einheit der Ladung durch die Formel

$$h = \frac{a}{1 + z}$$

darſtellen, wenn a die Erwärmung anzeigt, welche ſtattfindet, wenn nur die unveränderlich im Schließungsbogen bleibenden Stücke die Batterie ſchließen, z aber die Zeit bedeutet, um welche die Entladung verzögert wird, wenn noch irgend ein Drahtſtück in den Schließungsbogen eingeſchaltet wird, vorausgeſetzt, daß man die Zeit zur Einheit nimmt, in welcher die Batterie entladen wird, wenn das fragliche Drahtſtück aus dem Schließungsbogen bleibt.

Hat man durch Verſuche den Verzögerungswerth z für einen, in den Schließungsbogen eingeſchalteten Draht α in derſelben Weiſe, alsdann den Verzögerungswerth z' für einen zweiten Draht β ermittelt, ſo kann man durch theoretiſche Betrachtungen ableiten, welches der Verzögerungswerth

für beide, auf die in Fig. 58 angedeutete Weiſe, nebeneinander eigeſchaltete Draht ſey.

Der eine Draht α entladet die Einheit der Elektricitätsmenge in der Zeit z; in der Zeiteinheit iſt er alſo im Stande, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z}$ zu entladen.

Eben ſo ergiebt ſich, daß der zweite Draht β in der Zeiteinheit die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z'}$ entladen kann.

In der Zeiteinheit entladen alſo beide Drähte α und β nebeneinander (Fig. 58), in den Schließungsbogen eingeſchaltet, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}$.

Daraus ergiebt ſich nun leicht, daß bei der Combination Fig. 58 die beiden Drähte die Elektricitätsmenge 1 in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen.

Wenn alſo

$$h = \frac{a}{1 + z} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung des Luftthermometers iſt, wenn ſich der Draht α im Schließungsbogen befindet; wenn ferner

$$h' = \frac{a}{1 + z'} \frac{q^2}{s}$$

für dieſelbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers iſt, wenn der Draht β in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, ſo iſt

$$h'' = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung, wenn die Drähte α und β gleichzeitig in der Fig. 58 angedeuteten Weiſe eine Verzweigung bildend, eingeſchaltet ſind.

Nach derſelben Schlußweiſe ergiebt ſich auch, daß wenn die Verzögerungswerthe dreier Drähte z, z' und z'' ſind, daß alsdann, wenn dieſe drei Drähte neben einander in den Schließungsbogen eingeſchaltet worden, $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'} + \frac{1}{z''}}$, der Verzögerungswerth der ganzen Verzweigung iſt.

Die Richtigkeit dieſer Schlußfolgerungen hat Rieß durch zahlreiche Verſuche bewieſen, von denen ich hier einige anführe.

Die Batterie, die zu allen dieſen Verſuchen angewandt wurde, beſtand aus 4 Flaſchen von 2,6 Quadratfuß innerer Belegung. Es wurde nun zwiſchen die conſtanten Theile des Schließungsbogens der Reihe nach verſchieden lange Stücke von ſtets gleich dickem Platindraht eingeſchaltet, durch jeden Draht verſchiedene Elektricitätsmengen entladen, und ſo ergab ſich aus der Combination dieſer Verſuche für das a der obigen Gleichung der Werth 1,232. Auf welche Weiſe a aus der Combination mehrerer ſolcher Verſuche beſtimmt werden kann, ergiebt ſich aus den Entwickelungen auf Seite 104.

Es wurde nun ein Platindraht α eingeſchaltet (es iſt hier nicht nöthig, ſeine Dimenſionen weiter zu kennen) und verſchiedene Elektricitätsmengen entladen, aus welchen Verſuchen ſich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}81$ ergab, es iſt alſo

$$0{,}81 = \frac{1{,}232}{1 + z}$$

und daraus $z = 0{,}5209$ und $\frac{1}{z} = 1{,}919$; ſtatt α wurde der Platindraht β eingeſchaltet, und es ergab ſich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}94$, mithin $z' = 0{,}3107$ und $\frac{1}{z'} = 3{,}219$.

Sind die Drähte α und β gleichzeitig als zwei Zweige in den Schließungsbogen eingeſchaltet, ſo muß nach unſerer Betrachtung die Erwärmung des in den Stamm des Schließungsbogens eigeſchalteten Thermometers ſeyn

$$h = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{1{,}919 + 3{,}219}} = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{5{,}138}}$$
$$= 1{,}031$$

Der Verſuch gab $h = 1{,}03$.

Bei der Schließung durch einen Zweig α' ergab ſich

$$h = 0{,}386 \text{ alſo } \frac{1}{z} = 0{,}4563.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig β'

$$h = 0{,}519 \text{ alſo } \frac{1}{z'} = 0{,}7279.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig γ' (Eiſendraht)

$$h = 0{,}449 \text{ alſo } \frac{1}{z''} = 0{,}5734$$

es iſt demnach

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{z} + \frac{1}{z''} = 1{,}758,$$

es ergiebt ſich alſo, wenn der Bogen durch die drei Zweige gleichzeitig geſchloſſen wird, für die Einheit der Ladung als Erwärmung des Thermometers

$$h = \frac{1,232}{1 + \frac{1}{1,758}} = 0,7851.$$

Die Verſuche gaben für dieſe Combination

$$h = 0,784.$$

Weitere Verſuchsreihen gaben eine gleiche Uebereinſtimmung der berechneten und beobachteten Werthe.

47 **Erwärmung in einem Zweige des Schließungsbogens.** Wir haben geſehen, daß durch zwei Zweige des Schließungsbogens die Elektricitätsmenge q in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen wird, wenn z und z' die Zeit bezeichnet, in welcher jeder der beiden Zweige für ſich allein dieſelbe Elektricitätsmenge zu entladen im Stande iſt. In der Zeiteinheit kann der erſte Zweig die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z}$ entladen, folglich iſt die Elektricitätsmenge, welche den erſten Zweig in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladet, gleich $\frac{q}{z\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$; eben ſo entladet der zweite Zweig in derſelben Zeit die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z'\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$.

Demnach iſt die Erwärmung im erſten Zweig

$$h_{\text{n}} = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \cdot \frac{q^2}{s \, . \, z^2 \left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)^2}$$

$$= \frac{a}{\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)\left(1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right) z^2} \cdot \frac{q^2}{s}.$$

Rieß fand auch dieſe Formel durch ſeine Verſuche beſtätigt.

Um in die Zweige ein Luftthermometer einſchalten zu können, ohne ſonſt etwas am Schließungsbogen zu ändern, befanden ſich in den Zweigen Platindrähte mit denſelben Verbindungsſtücken, und von gleicher Länge und Dicke wie der Platindraht im Thermometer, ſo daß man dieſe Draht-

ſtücke aus dem Zweige wegnehmen, und ſtatt deſſen den Thermometer einſchalten konnte; die Stelle im Stamm, wo vorher der Thermometer ſich befand, wurde dann durch eine gleichwerthige Drahtverbindung ausgefüllt.

Bei allen dieſen Verſuchen waren die Zweige nur ſehr kurz, und nur für dieſen Fall finden obige Formeln eine Anwendung. Wenn die Zweige länger ſind, ſo kann jeder in dem andern einen gleichgerichteten Nebenſtrom induciren. Wenn nun aber der Hauptſtrom in α einen Nebenſtrom in β inducirt, ſo iſt α gleichſam die Schließung des Nebendrahts β, der in β erregte Nebenſtrom wird alſo α in einer Richtung durchlaufen, welche der Richtung des Hauptſtromes entgegengeſetzt iſt; dazu kommt noch der durch β in α erregte Nebenſtrom. Durch dieſe Nebenſtröme kann aber die Wirkung des Hauptſtromes nicht allein in den Zweigen, ſondern auch im Stamme modificirt werden. Dieſe ſehr complicirten Störungen des Entladungsſtromes in einem verzweigten Drahte mögten aber wohl, wie Rieß richtig bemerkt, ſchwerlich unter ein allgemein gültiges Geſetz zu bringen ſeyn.

Elektriſche Verzögerungskraft der Metalle. An die eben beſprochenen Unterſuchungen ſchließt ſich eine höchſt intereſſante und wichtige Arbeit von Rieß über die elektriſche Verzögerungskraft der Metalle an. 48

Wir haben geſehen, daß ein Draht mittelſt des Henley'ſchen Ausladers in den Schließungsbogen gebracht, die Entladung verzögert und daß in Folge dieſer Verzögerung die Depreſſion im Luftthermometer abnimmt.

Es bleibe nun der Draht im Thermometer unverändert derſelbe, man ſchalte aber einmal einen Platindraht, dann einen Kupferdraht von gleicher Länge und Dicke in den Schließungsbogen ein, ſo wird man keine gleiche Depreſſion erhalten, woraus hervorgeht, daß dieſe Drähte, obgleich ſie gleiche Dimenſionen haben, die elektriſche Entladung doch nicht in gleichem Maaße verzögern, daß alſo die Verzögerungskraft der beiden Metalle ſpecifiſch verſchieden iſt.

Bei gleicher Länge und Dicke wird man bei dem eingeſchalteten Kupferdraht eine größere Depreſſion erhalten, als für den Platindraht, der Kupferdraht verzögert alſo die elektriſche Entladung weniger als der Platindraht.

Für die Betrachtung und Rechnung wäre nun Folgendes die einfachſte Methode, die Verzögerungskraft verſchiedener Metalle zu vergleichen. Man ſpanne zunächſt einen Platindraht in den Henley'ſchen Auslader und ermittle die Depreſſion, welche eine beſtimmte Ladung der Batterie hervorbringt. Nun ſpanne man den andern Draht ſtatt des Platindrahtes ein (der jedoch mit dem Platindraht gleiche Dicke haben muß) und verlängere oder verkürze ihn ſo lange, bis dieſelbe Ladung der Batterie

denſelben Effect hervorbringt, wie bei dem zuvor angewandten Kupferdraht; die verzögernden Kräfte verhalten ſich dann umgekehrt wie die eingeſchalteten Drahtlängen.

Ein Kupferdraht müßte z. B. bei gleicher Dicke 6,44mal ſo lang ſeyn, wie ein Platindraht, um gleiche Verzögerung zu bewirken; die verzögernde Kraft des Platins iſt alſo 6,44mal ſo groß wie die des Kupfers. Setzen wir die verzögernde Kraft des Platins gleich 1, ſo iſt demnach die verzögernde Kraft des Kupfers 0,1552.

Dies wäre, wie geſagt, für die Betrachtung und Rechnung die einfachſte Methode. Die Ausführung dieſer Verſuche würde aber ſehr mühſam ſeyn. Rieß hat es deswegen vorgezogen, die Verſuche mit Drahtſtücken von beſtimmter Länge und Dicke anzuſtellen, die entſprechenden Depreſſionen zu beobachten und daraus dann die Verzögerungskraft mit Hülfe der oben gefundenen Geſetze zu berechnen.

Bei den folgenden Verſuchen war im Thermometer ſtets ein und derſelbe Platindraht ausgeſpannt (ſeine Länge war 59,25''', ſein Halbmeſſer 0,04098'''). Es wurde nun ein Platindraht von derſelben Dicke, aber 34,67''' Länge in den Auslader gebracht. Eine nach der oben näher beſchriebenen Methode angeſtellte Verſuchsreihe, bei welcher q und s variirt und ſtets die entſprechende Depreſſion beobachtet wurde, gab als Reſultat

$$h = 1{,}37\,\frac{q^2}{s},$$

ein gleich dicker Platindraht von 87,62''' Länge gab

$$h = 1{,}01\,\frac{q^2}{s},$$

ein dritter gleich dicker 143,5''' langer Platindraht gab

$$h = 0{,}79\,\frac{q^2}{s}.$$

Der Factor von $\frac{q^2}{s}$ hat, wie wir oben (S. 122) geſehen haben, die Form

$$\frac{a}{1 + b\lambda},$$

um die Conſtanten a und b zu beſtimmen, ſind zwei Beobachtungsreihen nöthig, d. h. man muß zwei numeriſche Werthe dieſes Factors kennen, welche zwei verſchiedenen Längen von λ entſprechen.

Wir haben einmal

$$\frac{a}{1 + b\,34{,}67} = 1{,}37,$$

dann

$$\frac{a}{1 + b\,.\,87{,}62} = 1{,}01,$$

aus der Combination dieſer beiden Gleichungen folgt

$$a = 1{,}787, \qquad b = 0{,}00878.$$

Combinirt man auf dieſelbe Weiſe die erſte und dritte Beobachtungsreihe, ſo kommt

$$a = 1{,}788, \qquad b = 0{,}008807,$$

die Combination der zweiten und dritten Beobachtungsreihe giebt

$$a = 1{,}792, \qquad b = 0{,}008843.$$

Das Mittel aus dieſen drei Beſtimmungen iſt

$$a = 1{,}789, \qquad b = 0{,}008810.$$

Um die Verzögerungskraft des Kupfers zu beſtimmen, wurde nun ein Kupferdraht in dem Henley'ſchen Auslader eingezogen. Seine Länge war 141,6‴; ſein Radius 0,041952‴. Nehmen wir die Dicke des vorher unterſuchten Platindrahtes zur Einheit, ſo ergiebt ſich für den Kupferdraht der Werth des Halbmeſſers

$$\varrho = 1{,}0236.$$

Aus einer mit dieſem Kupferdraht angeſtellten Verſuchsreihe ergab ſich

$$h = 1{,}51\,\frac{q^2}{s}.$$

Nach dem obigen iſt aber der Factor

$$1{,}51 = \frac{a}{1 + \frac{b'\,\lambda}{\varrho^2}}$$

wo a gleich dem eben gefundenen Werth 1,798, $\lambda = 141{,}6$ und $\varrho = 1{,}0236$ zu ſetzen iſt. Es ergiebt ſich alsdann für b' der Werth

$$b' = 0{,}001367.$$

Dividirt man dieſen Werth von b' durch den für Platin gefundenen Werth von b, ſo kommt

$$\frac{b'}{b} = 0{,}1552,$$

d. h. die Verzögerungskraft des Kupfers iſt 0,155mal ſo groß wie die des Platins, oder, wenn man die Verzögerungskraft des Platins zur Einheit nimmt, ſo iſt die des Kupfers gleich 0,1552.

Auf ähnliche Weiſe beſtimmte Rieß auch die Verzögerungskraft anderer Metalle und fand für:

	Verzögerungskraft.	Umgekehrte Werthe der Verzögerungskraft, Kupfer = 100 geſetzt.
Silber	0,1043 . . .	148,74
Kupfer	0,1552 . . .	100
Gold	0,1746 . . .	88,87
Cadmium . . .	0,4047 . . .	38,35
Meſſing . . .	0,5602 . . .	27,70
Palladium . . .	0,8535 . . .	18,18
Eiſen	0,8789 . . .	17,66
Platin	1, . . .	15,52
Zinn	1,053 . . .	14,70
Nickel	1,180 . . .	13,15
Blei	1,503 . . .	10,32
Neuſilber . . .	1,752 . . .	8,86.

Die erſte Zahlenreihe giebt das Verhältniß an, in welchem Drähte von denſelben Dimenſionen, aber verſchiedenen Stoffes die Entladung der elektriſchen Batterie verzögern. Die umgekehrten Werthe der Verzögerungskräfte, welche in der zweiten Zahlenreihe ſtehen, entſprechen dem, was die Phyſiker Leitungsfähigkeit zu nennen pflegen.

49 **Erwärmungsvermögen der Metalle.** Als in dem Thermometer ſich ein Platindraht von 59,25‴ Länge und 0,04098‴ Radius, in dem Auslader aber ein Kupferdraht von 0,041952‴ Halbmeſſer und 141,6‴ Länge befand, gab eine Beobachtungsreihe

$$h = 1{,}51\,\frac{q^2}{s}.$$

Bei dieſen Verſuchen wurde ein Thermometer angewandt, deſſen Kugel 22668 Kubik-Linien enthielt, was 188404 Scalentheile ausmachte. Eine Depreſſion von 1‴ entſprach alſo, wie ſich aus den Seite 116 angeführten Betrachtungen ergiebt, einer Temperaturerhöhung der Luft von 0,00802°. Die Temperaturerhöhung des Drahtes ergiebt ſich aus der Formel

$$T = 0{,}00802\,h\left(1 + \frac{m\,c}{MC}\right)$$

auf die Seite 117 angegebene Weiſe. Führt man die Rechnungen aus, ſo ergiebt ſich als Temperaturerhöhung des Platindrahtes für $\frac{q^2}{s} = 1$

0,4635°.

Wurden nun die Drähte vertauſcht, ſo daß der Kupferdraht in dem Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, ſo kam

$$h = 0{,}46\,\frac{q^2}{s},$$

woraus ſich für $\frac{q^2}{s} = 1$ als Temperaturerhöhung des Kupferdrahtes

$$0{,}04678^\circ$$

ergiebt. Derſelbe Entladungsſchlag bringt alſo in den beiden Drähten ſehr ungleiche Erwärmungen hervor. Freilich waren auch die Halbmeſſer nicht ganz gleich, der des Platindrahtes war 0,04098''', der des Kupferdrahtes 0,04195''', wie oben (Seite 106) gezeigt wurde; verhalten ſich aber die Temperaturerhöhungen der Drähte caeteris paribus wie die 4ten Potenzen der Halbmeſſer, demnach würde ein Platindraht von den Dimenſionen des Kupferdrahtes eine Temperaturerhöhung von

$$0{,}4635 \frac{0{,}04098^4}{0{,}04195^4} = 0{,}4230^\circ$$

erhalten.

Bei gleichen Dimenſionen bringt alſo derſelbe Entladungsſchlag in einem Platin- und einem Kupferdrahte Temperaturerhöhungen hervor, welche ſich verhalten wie 0,4230 zu 0,04678, derſelbe Entladungsſchlag bringt alſo in einem Kupferdrahte eine

$$\frac{0{,}04678}{0{,}4230} = 0{,}1106$$

mal ſo große Temperaturerhöhung hervor, als in einem gleich dicken Platindraht, das Kupfer hat eine 0,1106mal ſo große Erwärmungsfähigkeit als das Platin.

Rieß hat nach ſeinen Formeln 0,1133 ſtatt 0,1106 gefunden. Die Differenz iſt ſo unbedeutend, daß ſie nicht weiter unterſucht zu werden braucht.

Auf ähnliche Weiſe hat Rieß auch das Erwärmungsvermögen anderer Metalle beſtimmt, er fand für:

	Erwärmungs-vermögen.	Wärmemengen $e\ c\ g$
Silber	0,1267	0,1126
Kupfer	0,1133	0,1447
Gold	0,2112	0,1847
Meſſing	0,3861	0,5616
Eiſen	0,7080	0,9148
Platin	1	1
Zinn	1,570	0,8917
Nickel	0,8727	1,182
Blei	2,876	1,455.

Die erſte dieſer Zahlenreihen giebt die Erwärmungsfähigkeit der Metalle, d. h. das Verhältniß der Temperaturerhöhungen, an welche verſchiedenartige Drähte derſelben Dicke erfahren würden, wenn ſie, Ende an

Ende hinter einander befeſtigt, zugleich eine elektriſche Batterie entladen.

Wenn man die Erwärmungsfähigkeit der Metalle mit ihrem ſpecifiſchen Gewichte und ihrer ſpecifiſchen Wärme multiplicirt, ſo erhält man Zahlen, welche angeben, wie ſich die Wärmemengen verhalten, welche durch denſelben Entladungsſchlag in gleich dicken Dräthen frei werden.

Nehmen wir auch hier wieder das Platin zur Einheit, ſo müſſen wir alle gefundenen Producte noch durch das ſpecifiſche Gewicht und die ſpecifiſche Wärme des Platins dividiren. Auf dieſe Weiſe ſind die Zahlen der zweiten Zahlenreihe erhalten worden, welche mit Wärmemengen überſchrieben iſt.

Dieſe Zahlenreihe giebt alſo an, in welchem Verhältniß die Wärmemengen ſtehen, welche in verſchiedenartigen Dräthen von gleichem Halbmeſſer frei werden würden, wenn ſie, Ende an Ende befeſtigt, eine elektriſche Batterie entladen.

Vergleicht man dieſe Zahlen mit den auf Seite 130 angegebenen Verzögerungskräften, ſo ſieht man, daß ſie faſt ganz gleich ſind (die Differenzen ſind gering genug, um durch die ſchon an und für ſich ſchwankenden Werthe der Wärmecapacität und des ſpecifiſchen Gewichts in Verbindung mit dem Beobachtungsfehler erklärt zu werden); die verzögernde Kraft der verſchiedenen Metalle verhält ſich alſo wie die durch den elektriſchen Entladungsſchlag caeteris paribus in den Dräthen frei werdenden Wärmemenge.

Daraus folgt ferner, daß man das relative elektriſche Erwärmungsvermögen eines Metalles findet, wenn man die elektriſche Verzögerungskraft deſſelben durch ſeine Wärmecapacität und ſein ſpecifiſches Gewicht dividirt (und dann noch mit dem ſpecifiſchen Gewichte und der Wärmecapacität des Platins multiplicirt, wenn das Erwärmungsvermögen des Platins = 1 ſeyn ſoll).

50 **Wärmemenge, welche durch den Entladungsſchlag überhaupt erzeugt wird.** Vorſſelmann de Heer benutzt die eben mitgetheilten Erfahrungen, um daraus auf die ganze Wärmemenge zu ſchließen, welche ein elektriſcher Entladungsſchlag erzeugt (P. A. 48. 292), nachdem er mit den Rieß'ſchen Formeln eine Umwandlung vorgenommen hat, die im Weſentlichen mit der auf S. 121 gegebenen Transformation ganz übereinſtimmt.

Es ergiebt ſich auf dieſe Weiſe, welches die Länge L eines Platindrathes von einer beſtimmten Dicke ſeyn müßte, wenn er dem Entladungsſchlag denſelben Widerſtand entgegenſetzen, oder mit anderen Worten, die Entladung gerade eben ſo verzögern ſollte, wie es durch die unveränderlichen Theile des Schließungsbogens geſchieht.

Da die Wärmemenge, welche in einem Drahtſtücke frei wird, ſeiner Ver-

zögerungskraft proportional iſt, und da man ferner an einer Stelle des Schließungsbogens die Erwärmung eines beſtimmten Drahtſtückes mit Hülfe des elektriſchen Luftthermometers beſtimmen kann, ſo kann man berechnen, wie groß die Wärmemenge iſt, welche in dem ganzen Schließungsbogen frei werden würde, wenn derſelbe durch einen einzigen Draht von der Länge $L + \lambda$ und einer gewiſſen Dicke gebildet würde. Vorſſelmann de Heer nimmt nun an, daß in dem ganzen Schließungsbogen wirklich eine der berechneten ganz gleiche Wärmemenge frei wird, weil der Schließungsbogen dieſelbe Verzögerungskraft hat wie die berechnete Drahtlänge und der frei werdenden Wärme, ja der Verzögerung proportional iſt.

Gegen dieſen Schluß aber proteſtirt Rieß (P. A. 48. 320), indem er mit Recht einwendet, daß der weſentlichſte Theil der Verzögerung im Schließungsbogen nicht ſowohl von den continuirlichen metalliſchen Theilen des Schließungsbogens als vielmehr von den Verbindungsſtellen herrührt, und daß uns die Verſuche über das Verhältniß zwiſchen Verzögerungskraft und Wärmeentwicklung nur für continuirliche Drähte, aber nicht für discontinuirliche Metallſtücke Auskunft geben, daß wir über das Verhältniß zwiſchen der Verzögerungskraft und Erwärmung an den Verbindungsſtellen noch gar nichts wiſſen.

Glühen und Schmelzen der Metalldrähte durch elektriſche Entladungen. Während ſchwächere Entladungsſtröme in dünnen Metalldrähten eine Erwärmung hervorbringen, deren Geſetze Rieß gründlich ſtudirt hat, und mit denen wir uns bisher beſchäftigt haben, bringen ſtärkere Entladungen die Drähte zum Glühen, ja zum Schmelzen. 51

Es iſt nun die Frage, ob dieſe Wirkungen, nämlich Glühen und Schmelzen der Drähte ſich durch eine Steigerung der elektriſchen Erwärmung nach den für niedrigere Temperaturen ermittelten Geſetzen erklären laſſen oder nicht.

Rieß hat das Glühen und Schmelzen von Metalldrähten durch Elektricität genauer unterſucht (P. A. 65. 481) und gezeigt, daß dies nicht der Fall iſt.

Als in dem Schließungsbogen der Batterie ein dünner Platindraht von 15 Linien Länge, und ein dickerer im Luftthermometer eingeſchloſſener Platindraht eingeſchaltet war, ergab ſich aus den bei ſchwächeren Entladungen am Luftthermometer gemachten Beobachtungen nach den obigen Geſetzen für die Einheit der Ladung eine Temperaturerhöhung von $0{,}68^0$ des dünnen Drahtes.

Durch Entladung der Elektricitätsmenge 42 in 5 Flaſchen wurde der Draht vollſtändig geſchmolzen; berechnet man aber für dieſe Ladung die Temperaturerhöhung des dünnen Drahtes nach den bekannten Geſetzen, ſo findet man $0{,}68 \frac{42^2}{5} = 245^0$.

Dieſe Temperatur reicht nicht zum Glühen, geſchweige denn zum Schmelzen des Platins hin, und ſomit iſt auch klar, daß die Temperatur von 245°, welche nach den für ſchwächere Ladungen abgeleiteten Geſetzen berechnet wurde, nicht die ſey, welche das durch Elektricität geſchmolzene Platin wirklich beſaß.

Es geht daraus hervor, daß eine ſtarke Entladung in einer anderen Weiſe auf den Draht wirken müſſe als ſchwächere, was auch daraus hervorgeht, daß eine ſtarke Entladung am Drahte mechaniſche Wirkungen ausübt, welche den ſchwächeren Entladungen ganz fremd ſind.

Rieß hat mit großer Sorgfalt die Wirkung allmälig verſtärkter Entladungsſchläge unterſucht. Um ſehr ſtarke Effecte hervorbringen zu können, wandte er eine Batterie von 7 Flaſchen mit 2,6 füßiger Belegung an (ſoll wohl heißen, daß jede Belegung 2,6 Quadratfuß betrug).

Lange zuvor, ehe die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge erreicht iſt, zeigen ſich am Draht Erſcheinungen, welche ein gewaltſames Eindringen der Elektricität bekunden; der Draht wird ſichtbar erſchüttert, es treten kleine Funken an ſeinen Enden auf, es werden von ſeiner Oberfläche Theilchen losgeriſſen, die ſich in Geſtalt eines dichten Dampfes von ihm erheben. Oft geſchieht gleichzeitig mit dem Auftreten der Funken das Losreißen größerer Metalltheile, die fortgeſchleudert und erglühend dem Funken ein ſprühendes Anſehen geben. Noch mehr geſteigerte Ladungen bringen Einbiegungen im Draht hervor, die gerade ſo ausſehen, als ob ſie mit einem kantigen Inſtrument gemacht worden wären. Wir wollen hier nur eine der Verſuchsreihen anführen, welche dieſe Erſcheinungsreihe darthaten. Ein Platindraht von 0,0261 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erſcheinungen.

Flaſchenzahl.	Elektricitätsmenge.	
4	6	Funken an der inneren Seite des Drahtes (die der inneren Belegung zunächſt liegt).
	8	Dampfſtreifen am ganzen Drahte.
	9	Dampffunken an der äußeren Seite.
	10	Daſſelbe.
	11	Weder Funken noch Dampf; ſtarke Einbiegung.
	12	Funken an der äußeren Seite, Einbiegung verſtärkt.
	13	Der Draht glüht.

Alle dieſe Erſcheinungen, welche dem Glühen vorangehen, zeigen ſich leichter, wenn der Draht nicht angeſpannt iſt.

Schon frühere Beobachter hatten eine Verkürzung der durch elektriſche Entladungen zum Glühen gebrachten Drähte beobachtet; dieſe Verkürzung erklärt ſich nun durch die erwähnten Einbiegungen.

Die erwähnten Funken am Ende des Drahtes hängen vom Material des Drahtes und dem der Klammer ab. Die Sprühfunken zeigen ſich beim Eiſen in größter Ausdehnung, beim Kupfer ſind gar keine Funken bemerkt worden.

Viel conſtanter als das Auftreten der Funken iſt die Bildung der Dampfwolken, welche bei keinem Metall gefehlt hat. Die Leichtigkeit, mit welcher der Dampf gebildet wird, variirt bei verſchiedenen Metallen nicht mehr als bei verſchiedenen Drähten deſſelben Metalls. Die Dampfbildung wird durch eine größere Anzahl von Furchen, welche das Zieheiſen auf den Draht zurückgelaſſen hat, befördert. Nach ſorgfältigem Poliren der Drähte fand Rieß die Dampfbildung geringer als ſonſt.

Geſetze des elektriſchen Glühens. 1) Glühen nach der Stärke 52
der Ladung. In den Schließungsbogen wurde ein dünner Platindraht von 0,116 L. Durchmeſſer und 26,6 L. Länge, und außerdem noch ein elektriſches Thermometer mit ſo dickem Platindraht eingeſchaltet, daß er ſelbſt bei den ſtärkſten Entladungen unverſehrt blieb. Eine beſtimmte Zahl von Flaſchen wurde mit ſteigenden Elektricitätsmengen geladen, bis eine Elektricitätsmenge erreicht war, die den Draht in ein bei Tage ſichtbares Glühen verſetzte, jedesmal aber auch die Erwärmung des Thermometers beobachtet. So wurde mit verſchiedener Flaſchenzahl verfahren. Eine ſolche Beobachtungsreihe gab folgende Ladungen, die zum Glühen hinreichten, nebſt den entſprechenden Depreſſionen des Thermometers.

Flaſchenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung des Thermometers.
5	12	20,2
4	11	21,8
3	10	21,6
2	8	20,3.

Um den dünnen Draht zum Glühen zu bringen, waren alſo die Elektricitätsmengen 12 in 5 Flaſchen, 11 in 4, 10 in 3, 8 in 2 Flaſchen nöthig. Dividirt man das Quadrat der Elektricitätsmenge durch die entſprechende Flaſchenzahl, ſo erhält man folgende Quotienten $^{144}/_5 = 28{,}5$, $^{121}/_4 = 30{,}2$, $^{100}/_3 = 33{,}3$, $^{64}/_2 = 32$.

Dieſe Quotienten ſind ſehr nahe gleich, und man kann daraus ſchließen, daß wenn eine Elektricitätsmenge q in s Flaſchen einen Draht glühend macht, unter ſonſt gleichen Umſtänden die Elektricitätsmenge q' in s' Flaſche dieſelbe Wirkung hervorbringen wird, wenn $\frac{q^2}{s} = \frac{q'^2}{s'}$. In obigen Verſuchen iſt jener Quotient im Mittel gleich 31, wonach für

	2	3	4	5	6	7 Flaſchen
die Elektricitätsmengen	7,9	9,6	11	12,4	13,6	14,7

als diejenigen gefunden werden, welche den erwähnten Draht glühend machen.

Wir haben ſchon oben geſehen, daß die Erwärmung, welche ein Entladungsſtrom im elektriſchen Thermometer hervorbringt, unter ſonſt gleichen Umſtänden dieſelbe bleibt, ſo lange der Quotient $\frac{q^2}{s}$ oder was daſſelbe iſt, das Product der elektriſchen Quantität q multiplicirt mit der Dichtigkeit $\frac{q}{s}$ ſich nicht ändert. Da nun aber auch zum Glühen des dünnen Drahtes ſtets derſelbe Werth von $\frac{q^2}{s}$ nöthig iſt, ſo läßt ſich erwarten, daß die Entladungen, welche das Glühen des dünnen Drahtes bewirken, im elektriſchen Thermometer auch gleiche Erwärmung hervorbringen, was bei der zuletzt angeführten Verſuchsreihe in der That ſehr nahe der Fall iſt.

Wir wollen der Kürze halber den Strom durch ſeine erwärmende Kraft meſſen, und überall unter Stärke des Entladungsſtroms die Größe der Erwärmung verſtehen, welche derſelbe in einem conſtanten im Schließungsbogen befindlichen Drahte hervorbringt. Die Stärke des Entladungsſtroms iſt alſo ſtets dieſelbe, ſo lange caeteris paribus auch der Werth von $\frac{q^2}{s}$ unverändert bleibt.

2) Glühen des Drahtes nach ſeiner Länge. Wenn ein Entladungsſtrom hinreicht, um einen dünnen Draht glühend zu machen, ſo wird eine Verlängerung des Drahtes den Strom in der Weiſe verzögern, daß ſie nun nicht mehr im Stande iſt, den Draht in's Glühen zu bringen. Wenn außer dem dünnen Draht auch noch ein elektriſches Thermometer in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, ſo wird eine Verlängerung des dünnen Drahtes durch die Verzögerung der Entladung auch eine geringere Erwärmung des Thermometers zur Folge haben.

Da die Stärke des Entladungsſtromes durch die Erwärmung des elektriſchen Thermometers gemeſſen wird, ſo kann man auch alſo ſagen, daß durch die Verlängerung des dünnen Drahtes die Stärke des Entladungsſtromes vermindert wird.

Wenn alſo eine gewiſſe Ladung der Batterie eben hinreicht, einen dünnen Draht in's Glühen zu bringen, ſo wird bei Verlängerung des Drahtes dieſelbe Ladung eine geringere Stärke des Entladungsſtromes geben und zum Glühen des Drahtes nicht mehr hinreichen. Um den längeren Draht glühend zu machen, muß die Ladung verſtärkt werden und zwar, wie aus den Verſuchen von Rieß hervorgeht, gerade um ſo viel, daß die Stärke des Entladungsſtromes wieder die vorige Größe erreicht.

Ein 15,7 Linien langer Platindraht kam in's Glühen bei

4 Flaſchen, einer E Menge 12, die Erwärmung des Thermometers war 8.

Ein gleich dicker 77,5 Linien langer Draht kam in's Glühen bei

4 Flaſchen, einer E Menge 22, die Erwärmung des Thermometers war ebenfalls 8. Gleich dicke und aber verſchieden lange Drähte erfordern alſo zum Glühen eine gleiche Stärke des Entladungsſtromes.

3) Glühen von Drähten nach der Dicke derſelben. Wenn eine beſtimmte Stärke des Entladungsſtromes einen Draht in's Glühen bringt, ſo wird bei gleichem Werth von q und s ein dickerer, gleich langer Draht nicht mehr in's Glühen kommen, während die Stärke des Entladungsſtromes wegen der verminderten Verzögerung zunimmt.

Um den dickeren Draht in's Glühen zu bringen, muß q vergrößert werden, wodurch auch die Stärke des Entladungsſtromes vermehrt wird.

Um gleich lange Drähte, deren Radien 0,018; — 0,021; — 0,026 Linien betrugen, waren Entladungsſtröme nöthig, deren Stärke am gleichzeitig eingeſchalteten elektriſchen Thermometer gemeſſen 9, 20, 43 war.

Die vierten Potenzen der drei Radien verhalten ſich wie 10 : 19 : 45, und dieſe Zahlen ſtehen ſehr nahe in demſelben Verhältniß wie 9 : 20 : 43.

Die Stärke des Entladungsſtromes einer Batterie, die zum Glühen eines Drahtes nöthig wird, iſt alſo dem Biquadrate des Drahthalbmeſſers proportional.

4) Glühen von Drähten verſchiedener Metalle. Aus den Verſuchen, die Rieß über das Glühen von Drähten verſchiedener Metalle angeſtellt hat, folgt, daß, wenn man mit 1 die Stärke des Entladungsſtromes bezeichnet, welche zum Glühen eines Platindrahtes erforderlich iſt, daß alsdann bei gleichen Dimenſionen ein Draht von

Eiſen	bei einer Stromſtärke			0,816
Neuſilber	»	»	»	0,950
Platin	»	»	»	1,00
Palladium	»	»	»	1,07
Meſſing	»	»	»	2,59
Silber	»	»	»	4,98
Kupfer	»	»	»	5,95

glüht.

Erſcheinungen, welche dem Glühen folgen. Wenn die Stärke 53
des Entladungsſtromes noch mehr geſteigert wird, als zum erſten Glühen nothwendig iſt, ſo treten mit wachſender Stärke der Reihe nach folgende Erſcheinungen auf. Der Draht wird weiß glühend; er reißt von ſeinen Befeſtigungen ab, er zerſplittert, er ſchmilzt, er zerſtäubt.

1) Das Zerreißen. Ein Platindraht von 0,026 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erſcheinungen:

Flaſchen-zahl.	*E* Menge.	
4	12	der Draht glüht,
	14	derſelbe heftig glühend,
	15	weißglühend,
	16	in drei hackige Stücke zerriſſen.

Nach Cavallo ſoll die Gluth am Drahte vom poſitiven Drahtende gegen den negativen fortſchreiten. Rieß bemerkte bis auf einen Fall ein entgegengeſetztes Fortſchreiten des Glühens.

Nach von Marum ſoll, wenn der Draht zum Theil zerſtört wird, ſtets der der poſitiven Belegung zunächſt liegende Theil zerſtört werden; Rieß dagegen fand die Drähte bald an dem poſitiven, bald an dem negativen Ende abgeriſſen.

Ein Draht, der ſchon einige Stufen des Glühens durchgemacht hat, wird leichter zerriſſen als ein neuer.

2) Das Zerſplittern. Setzt man Drähte einer ſtärkeren Entladung aus, als zu ihrer Zerreißung nöthig iſt, ſo zerſplittern ſie unter Lichterſcheinung in einer größeren oder geringeren Menge kleiner Stücke, die bis in einige Entfernung zerſtreut werden. An den aufgeſammelten Stücken läßt ſich erkennen, daß die Zerſtückelung des Drahtes von einer Zerſchlitzung und Zerſplitterung herrührt, und daß eine Schmelzung, wo ſie auftritt, nur ſecundär erſcheint.

Ein 16 Linien langer, 0,079 Linien dicker Platindraht wurde mit einer $7\frac{1}{2}$ Linie weiten Glasröhre umgeben, im Schließungsbogen befeſtigt. Die Entladung der in 7 Flaſchen angehäuften Elektricitätsmenge 22 brachte ihn in's Glühen, die Elektricitätsmenge 35 zerriß ihn in Stücke, welche im Rohre gefunden wurden. Die Stücke hatten an der Oberfläche deutliche Zeichen von Schmelzung, und vier der größten erſchienen zu einer verſchlungenen Figur zuſammengelöthet, was darauf deutete, da ſie heiß gegen einander und gegen die Wandung der Röhre geſchleudert worden waren. Die Enden aller Stücke waren nicht geſchmolzen, die meiſten erſchienen ſcharf zugeſpitzt. Ein ziemlich gerades Stück wurde unter dem Mikroſcop gemeſſen; es hatte in der Mitte 0,081 Linien, an dem einen Ende 0,022 Linien Durchmeſſer, der Draht war alſo der Länge nach zerriſſen worden. Aehnliches zeigten andere Stücke.

Mehrere andere Verſuche gaben ähnliche Reſultate. Bei behutſamer Steigerung der Ladung läßt ſich die Zerſplitterung ohne eine Spur von Schmelzung hervorbringen.

3) Die Schmelzung. Durch fortwährend geſteigerte Entladungen zerſplittern die Drähte in immer kleinere Stücken; dieſe ſchmelzen an der Oberfläche und an den Enden, und fließen zuletzt in Kugeln zuſammen.

Ueberall werden die Dräthe hart an ihren Befeſtigungen abgeriſſen, die Stücke weit fortgeſchleudert. Alle folgenden Verſuche wurden unter einer Glasglocke angeſtellt, die zerſtreuten Drahtſtücke auf einem untergelegten Papierblatte geſammelt.

Ein Platindraht, 0,0258‴ Rad., 19‴ lang, wurde bei $s = 5$ und $q = 11$ glühend; bei $q = 20$ zerſplittert und geſchmolzen. Viele ½ Linie lange Stücke hatten Kugeln an den Enden; einzelne Splitter waren eingeſchmolzen. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q = 22$ in viele kleine ganz runde Kugeln geſchmolzen.

Ein Silberdraht, 0,0264‴ Rad.; 20‴ lang, zerſplitterte und ſchmolz bei $s = 6$, $q = 26$; es wurden einzelne Kugeln und angeſchmolzene Splitter geſammelt.

Ein Zinndraht; Rad. 0,037, Länge 15‴. Bei $s = 5$, $q = 20$ tröpfelten Kugeln vom Drahte herunter, welche unter der bekannten Feuererſcheinung herumhüpfend oxydirt wurden.

Ein Kupferdraht (Rad. 0,0253, Länge 16 Linien), bei $s = 6$, $q = 25$ glühend, bei $q = 25$ in einen Haufen ſehr kleiner Kugeln verwandelt. Es gelang nicht, größere Kugeln von Kupfer zu erhalten.

Hier iſt die zur vollkommenen Schmelzung nöthige Ladung nicht viel größer als die, welche das erſte Glühen erzeugt. Es kommt dies daher, daß bei den oxydirbaren Metallen die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerſtoff aus der Luft geſteigert wird, daß alſo zu den elektriſchen Effecten noch ein chemiſcher hinzutritt. Am auffallendſten iſt dies beim Eiſen, welches oft bei Entladungen ſchmilzt, die direct nur ein mäßiges Glühen erzeugt haben würden.

Ein Eiſendraht, 0,0266‴ Rad.; 17‴ lang, kam bei $s = 3$, $q = 13$ in ſtarkes Glühen, welches aber nicht wie ſonſt augenblicklich aufhörte. Die Gluth ſteigerte ſich bis zum Weißglühen; es tröpfelten einige Kugeln vom Draht ab und hüpften unter lebhaftem Funkenſprühen auf der Unterlage umher.

Der Rückſtand, welcher nach dem Schmelzen eines Drahtes in der Flaſche bleibt, iſt ſehr bedeutend, er betrug bei einem Verſuch von Rieß faſt 23 Procent der ganzen Ladung.

4) Die Zerſtäubung. Die erſte direct ſichtbare Wirkung der elektriſchen Entladung auf einen neuen Draht beſteht, wie oben bemerkt wurde, in der Bildung einer Dampfwolke, die ſich von dem Drahte erhebt. Es iſt wahrſcheinlich, daß dieſer Dampf aus Metalltheilchen beſteht, welche von der Oberfläche des Drahtes losgeriſſen werden, und deren Menge daher von der Beſchaffenheit der Oberfläche abhängt. Durch Steigerung der Ladung über den Punkt hinaus, bei welchem ſie den Draht vollſtändig ſchmelzen würde, iſt es möglich, die ganze Drahtmaſſe in ſolchen Dampf zu

verwandeln. Dieſe Verwandlung geſchieht unter glänzender Lichtentwicklung und mit einem ſtarken Knall.

Ein Platindraht (rad. 0,0309 L., Länge 15 L.) wurde bis $s = 5$ und $q = 13$ glühend, und ſchmolz bei $q = 17$ zu Kugeln. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q = 22$ mit glänzendem Lichte zerſtäubt, und in der Röhre, welche ihn umgab, zeigte ſich ein grauer abwaſchbarer Anflug.

Derſelbe Verſuch wurde in freier Luft wiederholt, und einige Linien über den Draht ein Glimmerblatt gehalten, welches bei der Zerſtäubung des Drahtes mit grauen und ſchwärzlichen Flocken überzogen wurde, die unter einem Mikroſcop bei 280facher Vergrößerung aus Metallbrocken verſchiedener Größe und Geſtalt zuſammengeſetzt erſchienen.

Die Metalle werden um ſo leichter zerſtäubt, je ſpröder ſie ſind.

54 **Mechanismus des Schmelzens.** Ueberall, wo eine elektriſche Schmelzung eintritt, iſt eine mechaniſche Trennung der geſchmolzenen Maſſe vorhergegangen, und die Schmelzung kann daher nur die Wirkung der Hitze auf fein vertheiltes Metall ſeyn. Den Unterſchied, zwiſchen Schmelzung durch Feuer und Schmelzung durch Elektricität, charakteriſirt Rieß auf folgende Weiſe:

Wenn Feuer auf ein Metall wirkt, ſo erhitzt es daſſelbe fortwährend als ganze zuſammenhängende Maſſe bis zum Schmelzen, die Elektricität hingegen erhitzt das Metall (als zuſammenhängende Maſſe) nur bis zu Temperaturen unter dem Schmelzpunkt, und ſchmilzt durch gleichzeitige Zerſplitterung und Erhitzung.

Franklin ſtellte im Jahre 1747 die Anſicht auf, welche er jedoch ſpäter zurücknahm, daß der Blitz die Cohäſion eines Metalles ohne Hülfe der Wärme löſe, und eine kalte Schmelzung deſſelben zu Wege bringe. Dieſe Anſicht wurde von Berthollet wieder aufgenommen, der jede elektriſche Einwirkung auf eine Subſtanz durch Auseinandertreibung der Partikel derſelben erklärte, und die bei der Schmelzung auftretende Wärme nur als ein ſecundäres Phänomen auffaßte.

In dieſer Anſicht liegt allerdings, nach den oben mitgetheilten Erfahrungen, etwas Wahres, allein ſie läßt die Wärme ganz unberückſichtigt, welche ja ſchon vor der mechaniſchen Wirkung auftritt; dagegen iſt die ſpäter allgemein gewordene Anſicht, als ob die elektriſche Schmelzung lediglich ein Reſultat der Erwärmung ſey, eben ſo einſeitig, indem ſie den mechaniſchen Effect vernachläſſigt.

55 **Veränderungen im Verzögerungswerthe der Metalle bei ſteigenden mechaniſchen Wirkungen.** Wir haben oben Seite 104 geſehen, daß zwiſchen der Erwärmung h eines Drahtes, der Elektricitätsmenge q und der Flaſchenzahl s die Relation

$$h = n\,\frac{q^2}{s}$$

beſteht, wo n ein Factor iſt, der für eine ganze Beobachtungsreihe merklich conſtant blieb. Dies findet nicht mehr Statt, wenn ſich in dem Schließungsbogen ein Draht befindet, der durch die angewandten Entladungen mechaniſch afficirt und ins Glühen verſetzt wird, wie aus folgender Verſuchsreihe erſichtlich iſt. Als außer dem Thermometer ein 17 L. langer Platindraht, rad. 0,0209 eingeſchaltet war, ergab ſich

s	q	h	n	
4	5	7,6	1,22	
	7	14,0	1,15	
	9	20,0	0,99	Einbiegung,
	11	27,2	0,90	Draht glühend,
	13	33,3	0,80	weißglühend,
	15	41,3	0,95	ſchmilzt zu Kugeln,

Der Verzögerungswerth nimmt alſo zu, wenn durch ſteigernde Ladungen mechaniſche Effecte und Glühen hervorgebracht werden, er nimmt aber beim Schmelzen wieder zu.

Rieß iſt nun der Anſicht, daß die anfänglichen Wärmeerſcheinungen durch eine continuirliche Fortpflanzung im Drahte, d. h. durch eine ſolche hervorgebracht werden, bei welcher die Elektricität mit gleichförmiger Geſchwindigkeit den Draht durchläuft, während bei mechaniſchen Wirkungen, beim Glühen u. ſ. w. zum Theil wenigſtens eine ſtoßweiſe Fortpflanzung ſtattfinden ſoll. Iſt die Elektricitätsmenge zu groß, um continuirlich geleitet zu werden, ſo wird ſie ſich an einzelnen Stellen, an denen durch irgend eine Urſache ihrem Fortſchreiten ein größeres Hinderniß entgegenſteht, ſich anhäufen, bis ſie im Stande iſt, den Widerſtand gleichſam zu durchbrechen. Daher die Zunahme des Verzögerungswerthes. Die Stellen der Intermittenz der Entladung ſcheinen durch die Verbiegungen angedeutet zu ſeyn. Beim Schmelzen wird der Verzögerungswerth wieder kleiner, weil hier zum Theil wenigſtens nur Ueberſpringen der Entladung ſtattfindet.

Eine verſchiedenartige Fortpflanzung der Elektricität findet auch bei nichtmetalliſchen Subſtanzen Statt. Bei der Entladung vermittelſt eines die Luft durchbrechenden Funkens, durch Lichtbüſchel u. ſ. w., findet eine discontinuirliche Fortpflanzung der Elektricität durch die Luft Statt, während der von Coulomb nach ſeinen Geſetzen erkannte allmälige Uebergang der Elektricität in Luft als die continuirliche Entladung eines elektriſchen Körpers durch die Luftmaſſe anzuſehen iſt. Durch eine Röhre mit Waſſer kann eine Batterie geräuſchlos vollſtändig entladen werden (continuirliche Entladung); bei Verſtärkung der Ladung erſcheint aber ein

Funken in der Röhre, welche gewaltſam zertrümmert wird (discontinuirliche, exploſive Entladung).

Daß ſich der Entladungsſchlag im Waſſer auf verſchiedene Weiſe fortpflanzt, zeigt ſich am auffallendſten, wenn man außer der Waſſerröhre noch ein elektriſches Thermometer in den Schließungsbogen der Batterie einſchaltete. Bei 4 Flaſchen gab

die Elektricitätsmenge.	Erwärmung am Thermometer.
5	0
$5\frac{1}{2}$	0
6	0
$6\frac{1}{2}$	27,5
7	35.

So lange eine continuirliche Entladung im Waſſer ſtattfindet, verzögert es die Entladung ſo ſtark, daß das Thermometer keine Erwärmung anzeigen kann; bei einer geringen Vermehrung der Ladung tritt aber die Durchbrechung und mit ihr eine bedeutende Temperaturerhöhung im Thermometer auf.

Der Nebenſtrom.

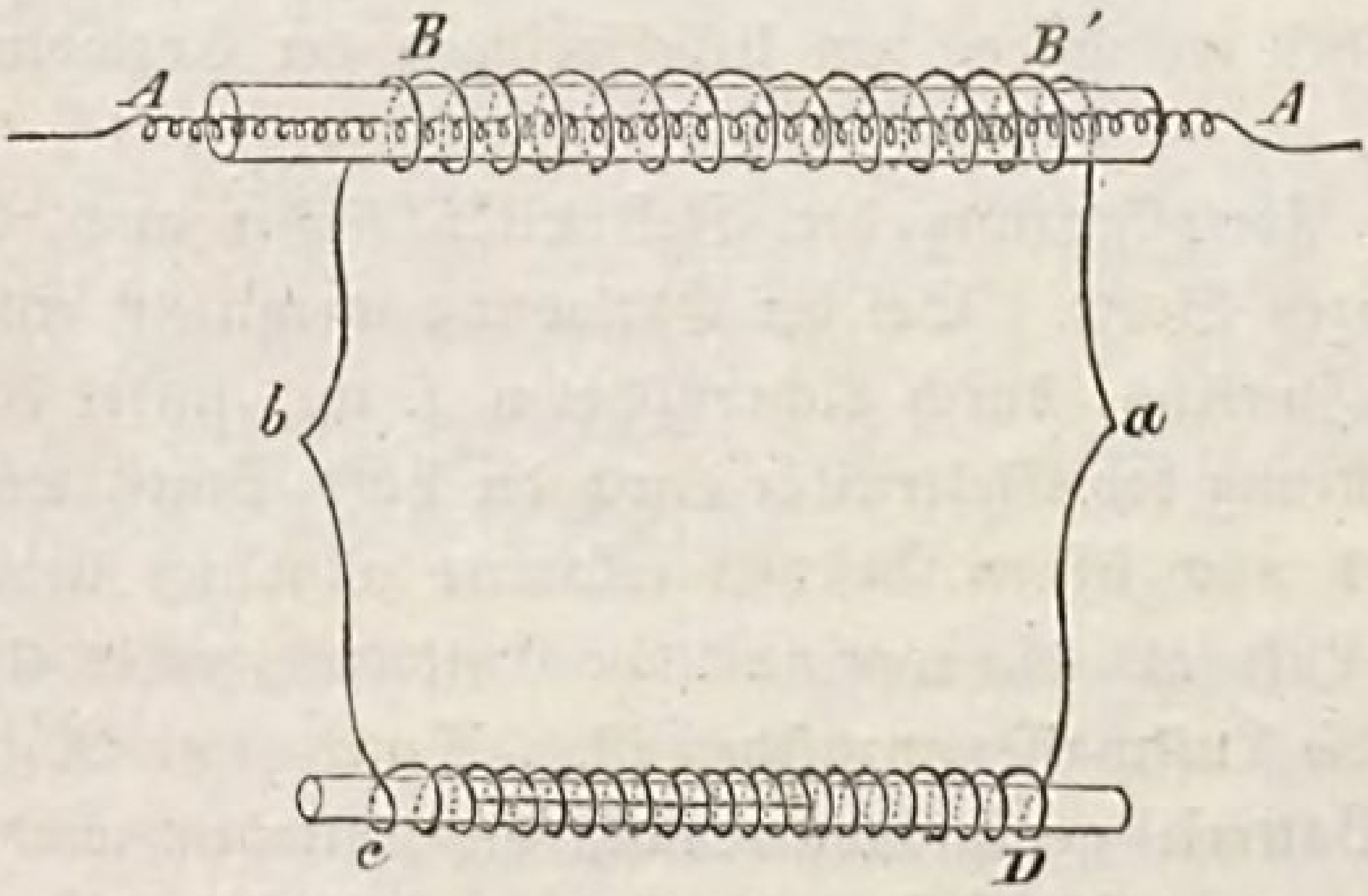
56 **Exiſtenz des Nebenſtromes.** Wenn eine elektriſche Batterie durch einen längeren Metalldraht entladen wird, ſo kann der in dem Schließungsbogen circulirende Strom in einer naheſtehenden geſchloſſenen Drahtleitung einen Strom induciren.

Der Draht, welcher den Schließungsbogen der Batterie bildet, ſoll der Hauptdraht heißen.

Der Draht, in welchem durch die Einwirkung des Stromes im Hauptdraht ein Strom inducirt wird, ſoll der Nebendraht genannt werden.

Die Exiſtenz des Nebenſtromes hat Rieß (P. A. 47. 55) auf folgende Weiſe dargethan.

ig. 59.



In Fig. 59 ſey *AA* ein ſpiralförmig auf eine Glasröhre aufgewundener Kupferdraht, welcher in den Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet iſt, *AA* ſey alſo der Hauptdraht.

Ueber den Hauptdraht ſey eine weitere Glasröhre geſchoben und auf dieſe der Nebendraht

BB' aufgewunden, deſſen Enden frei herabhängen. Bei *a* und *b* ſind die Enden einer dritten Spirale *CD*, welche ebenfalls auf eine Glasröhre aufgewunden iſt, befeſtigt.

Wird die Verbindung bei *b* gelöſt und die Drahtenden in einige Entfernung gebracht, ſo ſieht man bei *b* einen Funken überſpringen, wenn die hinlänglich ſtark geladene Batterie durch den Hauptdraht entladen wird. Dieſer Funke iſt ein Beweis für die Exiſtenz des Nebenſtromes; ein Ueberſchlagen der Elektricität vom Hauptdraht auf den Nebendraht kann nicht ſtattfinden, wenn man die Nebenſpirale bei den Enden der Glasröhre, auf welche ſie gewickelt iſt, noch hinlänglich weit frei läßt.

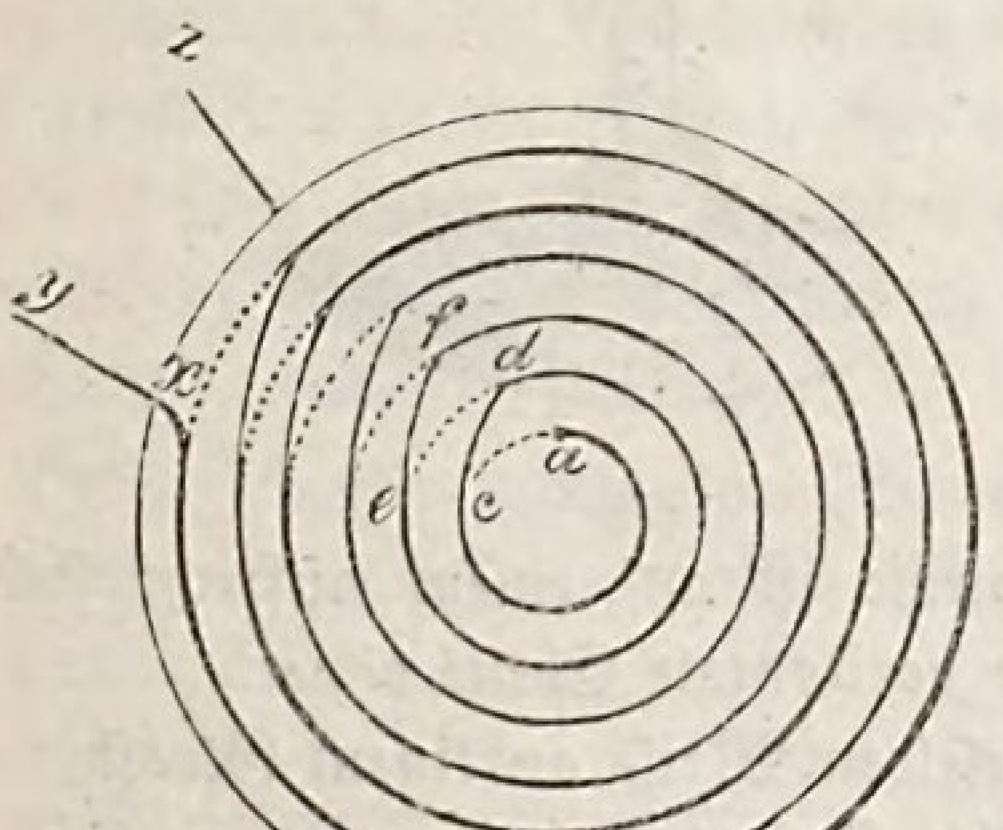
Legt man in die Glasröhre, auf welche die Spirale *CD*, welche wir die Magnetiſirungsſpirale nennen wollen, eine Stahlnadel (eine engliſche Nähnadel), ſo wird dieſe durch den Nebenſtrom magnetiſirt.

Ein in die Nebenſchließung eingeſchaltetes elektriſches Luftthermometer zeigt eine durch den Nebenſtrom hervorgebrachte Erwärmung.

Fig. 59 zeigt die Form, in welcher Rieß zuerſt ſeine Verſuche über den Nebenſtrom anſtellte. Später gab er der Haupt- und Nebenſpirale eine bequemere Form. (P. A. 50. 9.)

In einer aus drei aufgeleimten Dicken beſtehenden Holzſcheibe, deren Durchmeſſer von der Größe der zu bildenden Spirale abhängt, werden concentriſche Rinnen eingeſchnitten, und zu einer ſpiralförmigen Figur vereinigt, indem je zwei aufeinander folgende Kreiſe durch einen gekrümmten Einſchnitt verbunden werden; der innerſte Kreis iſt mit dem zweiten durch die Rinne *cd*, der zweite mit dem dritten durch *ef* u. ſ. w. verbunden. In dieſe Rinnen wird nun ein ungefähr ½ Linie dicker Kupferdraht ſo eingelegt, daß er eine Spirale bildet. Das eine Drahtende iſt bei *a* durch die Scheibe durchgeſteckt, und geht auf der unteren Seite des Brettes nach *z*. Von *a* aus gehen die Drahtwindungen nach *c*, von *c* nach *d*, von *d* nach *e*, *f* u. ſ. w.; *xy* iſt das zweite Ende des zu einer flachen Spirale aufgewundenen Drahtes.

Fig. 60.



Schon vor dem Einlegen des Drahtes wird die Scheibe mit einem dünnen Ueberzug von ſchwarzem Pech verſehen.

Iſt der Draht durch Auflegen einer heißen Metallplatte gehörig befeſtigt, ſo werden die Zwiſchenräume zwiſchen den Drahtringen mit Pech

ausgefüllt, und eine ſchwere erwärmte Metallplatte auf die Scheibe gelegt, wodurch die Drahtſpirale ganz eben gemacht werden kann. Dieſe Spirale wird nun mit Kohle geſchwärzt, auf eine zweite Holzſcheibe abgedrückt, um die Zeichnung zu einer zweiten Spirale zu erhalten, die der erſten möglichſt entſprechen muß.

Jede der Spiralſcheiben wird nun ſo auf einen Glasfuß befeſtigt, daß ihre Ebene vertikal zu ſtehen kommt. Auf einem und demſelben Geſtell werden zwei ſolche Scheiben einander gegenüber ſo aufgeſtellt, daß man ſie nach Belieben nähern oder entfernen kann. Die Art der Aufſtellung iſt aus Fig. 61 erſichtlich.

Eine andere für viele Zwecke weit bequemere Aufſtellung der flachen Spiralen, wie ich ſie bei Prof. Eiſenlohr in Karlsruhe geſehen habe,

Fig. 61.

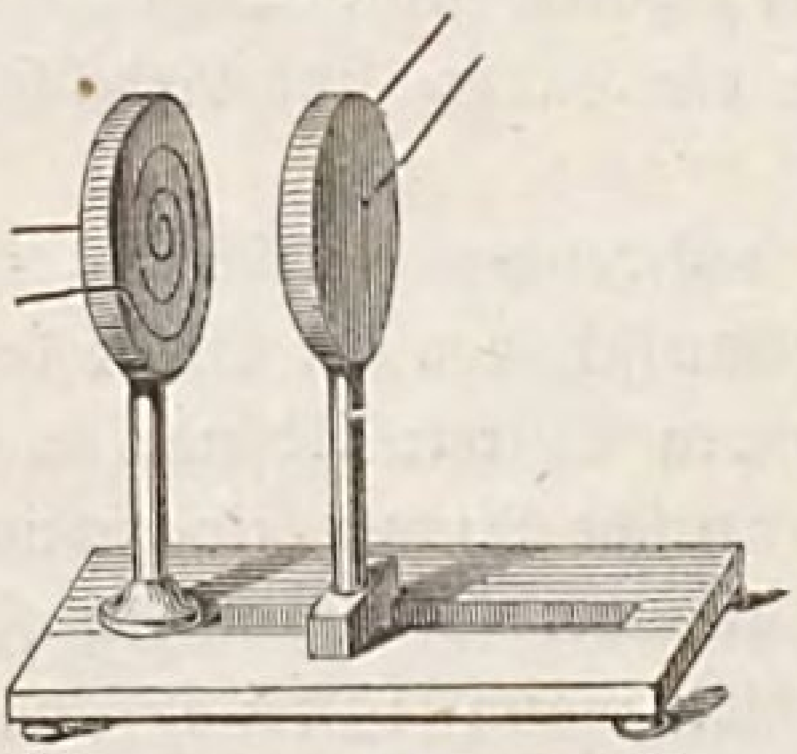
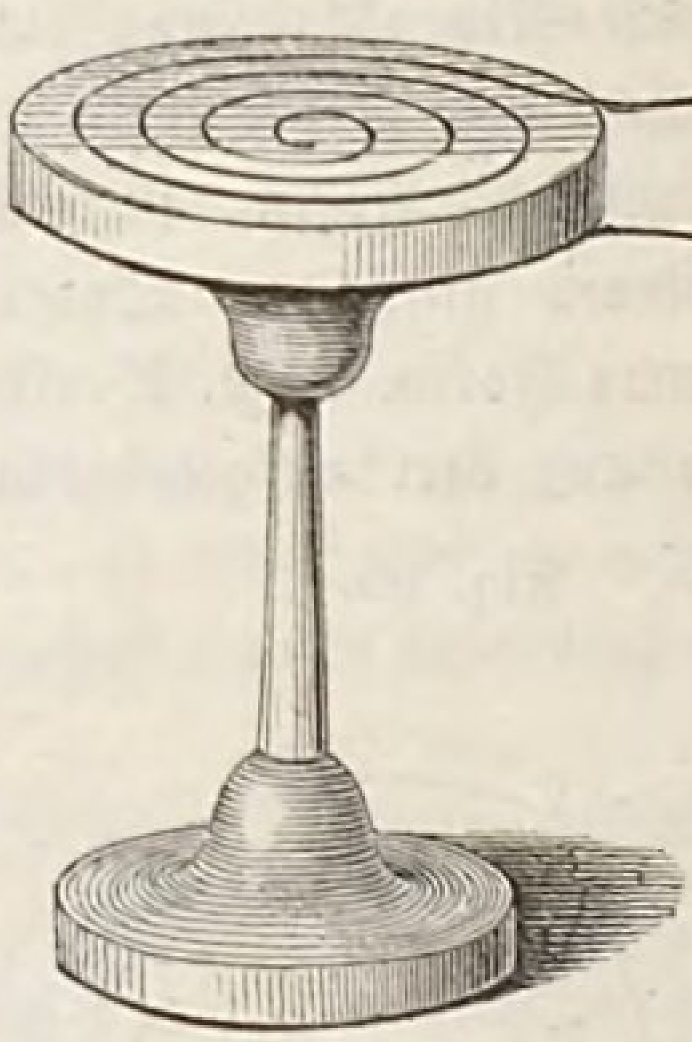


Fig. 62.



iſt Fig. 62 abgebildet. Die eine Spirale iſt auf einem aufrecht ſtehenden Glasfuße ſo befeſtigt, daß ſie eine horizontale Ebene bildet.

Die zweite Spirale iſt ganz in derſelben Weiſe an einem Glasſtab befeſtigt, der jedoch keinen Fuß hat; dieſe Spirale wird von oben her auf die andere geſetzt, wie die obere Condenſatorplatte auf die untere.

Die Entfernung der beiden Spirale kann man dadurch ändern, daß man Glasplatten von verſchiedener Dicke zwiſchen dieſelben legt. Größere Entfernungen laſſen ſich durch Einſchieben gefirnißter Holzſtäbchen, die eine beſtimmte Dicke haben, hervorbringen.

Die Enden des Spiraldrahtes ſind mit Schraubenklemmen z und y verſehen, vermittelſt deren man die Schließung der Spirale beliebig bewerkſtelligen kann.

Wenn y und z der unteren Spirale auf 1 bis 2 Linien genähert, und die beiden Spiralen durch eine Glasplatte getrennt ſind, ſo ſieht man zwiſchen y und z einen Funken überſpringen, wenn durch die obere Spirale

eine hinlänglich geladene Flaſche entladen wird. Es iſt der Nebenſtrom, der hier den Funken bildet.

Magnetiſirung durch den Hauptſtrom. Um nicht zu irrigen 57
Schlüſſen über die Magnetiſirung durch den Nebenſtrom verleitet zu werden, muß man die Magnetiſirung durch den Hauptſtrom ſelbſt erſt gehörig unterſuchen.

Eine ſolche Unterſuchung iſt zuerſt von Savary gemacht worden. Rieß hat die Savary'ſchen Verſuche wiederholt und beſtätigt gefunden. Folgendes ſind die Reſultate der von Rieß über die Magnetiſirung durch den Hauptſtrom gemachten Verſuche. (P. A. 47. 55.)

In den Schließungsbogen der Batterie, welche aus 25 Flaſchen (von $1\frac{1}{2}$ Quadratfuß Belegung) beſtand, wurde eine Spirale von Platindraht eingeſchaltet, welche mit einer Länge von 26 Zoll in 42 Windungen auf eine 3 Zoll lange Glasröhre aufgewunden war; die beiden nicht ſpiralförmig gewundenen Enden dieſes Platindrahtes waren zuſammen noch 34 Zoll lang.

Bei jedem Verſuche wurde eine neue unmagnetiſche engliſche Nähnadel in die Spirale gelegt, welche 13,9''' lang und in der Mitte 0,19''' dick war. Nachdem der Entladungsſchlag durch die Spirale hindurch gegangen war, war auch die Nadel magnetiſch geworden. Um die Stärke ihres Magnetismus zu unterſuchen, wurde ſie bis auf eine beſtimmte Entfernung einer 2 Zoll langen Bouſſolennadel genähert (wie, iſt nach der Beſchreibung von Rieß nicht wohl zu verſtehen) und die Ablenkung der Bouſſolennadel beobachtet, welche ſie hervorbrachte.

Bei geſteigerter Ladung der Batterie änderte ſich nicht allein die Stärke, ſondern auch die Polarität des Magnetismus der Nadel, wie man aus folgender Tabelle erſieht:

Q	5	10	15	20	25	27	29	30	32	35
Abſtoßung	9°	14,5	15	10,3	6,5	—2,5	—7,5	—8,5	2,3	11,5

Man ſieht, daß eine ſtärkere Ladung der Batterie nicht unbedingt eine ſtärkere Magnetiſirung zur Folge hatte, daß ferner nicht immer die Magnetiſirung ſo erfolgte, wie man es nach der Amper'ſchen Regel (daß ein mit dem poſitiven Stome ſchwimmend gedachtes Phantom, wenn es die Nadel anſchaut, den Nordpol derſelben zur Linken hat) hätte erwarten ſollen, denn bei allen mit — bezeichnenden Ablenkungen fand eine anormale Magnetiſirung der Nadel Statt.

Bei dieſer Verſuchsreihe nahm die Stärke des Magnetismus der Nadel mit der Größe der Ladung anfangs zu, dann wieder ab, bis endlich die Richtung des Magnetismus ſogar umgekehrt wurde, und erſt bei noch ſtärkeren Ladungen wieder eine normale Magnetiſirung auftrat.

Dieſe Verſuche ſind ein Beweis, daß man von der Polarität der Nadel nicht auf die Richtung des Entladungsſtromes ſchließen darf.

Bei ſchwächeren Ladungen war die Nadel normal magnetiſirt; anormale Magnetiſirung tritt bei ſteigender Ladung nur bei dünneren Nadeln auf; dickere Nadeln ſind ſtets normal magnetiſirt, obgleich ſtärkere und ſtärkere Ladungen auch in ihnen eine Ab= und Zunahme in der Stärke des Magnetismus bewirken.

58 **Magnetiſirung durch den Nebenſtrom.** Dieſe Eigenthümlichkeiten der Magnetiſirung der Stahlnadeln findet in gleicher Weiſe für den Nebenſtrom Statt. Die Magnetiſirung durch den Nebenſtrom wird der Stärke und der Richtung nach geändert:

1) durch Vergrößerung der Ladung;

2) durch Vergrößerung der Oberfläche der Batterie bei gleicher Größe der Ladung. Je größer die Oberfläche, deſto ſtärker fand Rieß den Magnetismus der Nadel; wenn dieſelbe Elektricitätsmenge auf eine größere Oberfläche vertheilt iſt, ſo hat ſie eine geringere Dichtigkeit, welcher eine langſamere Entladung entſpricht, durch welche die Magnetiſirung befördert wird.

3) Es wird der Gang der Perioden der Ab= und Zunahme, ſo wie der Umkehrung des Magnetismus verändert, durch eine Veränderung in der Schließung der Nebenſpirale, dadurch alſo, daß man in der Schließung der Nebenſpirale längere und längere Drähte einſchaltet.

Bleibt die Nebenſchließung zwar metalliſch dieſelbe, wird ſie aber an einer Stelle unterbrochen, ſo daß hier der Nebenſtrom mit einem Funken übergehen muß, ſo hat dies den merklichſten Einfluß auf die Magnetiſirung; oft wird dadurch der Magnetismus auf das bedeutendſte verſtärkt, zuweilen geſchwächt, ja ſogar auch in Beziehung auf die Richtung geändert. Die ſtärkſten Magnetiſirungen durch den Nebenſtrom, die nahe bis zur Sättigung der Nadel gingen, ſind auf dieſe Weiſe erhalten worden.

4) Es findet eine ſucceſſive Veränderung in der Stärke und auch eine Veränderung in der Richtung der Magnetiſirung durch die Nebenſpirale Statt, wenn caeteris paribus die Länge der Schließung der Hauptſpirale ſucceſſiv vergrößert wird.

Zu dieſen Magnetiſirungsverſuchen kann man den Apparat, Fig. 62, ſehr bequem anwenden. Man nimmt die untere Spirale zur Nebenſpirale und ſchaltet die Magnetiſirungsſpirale zwiſchen x und y ein, indem man die Enden der Magnetiſirungsſpirale in ſie einſchraubt.

59 **Wärmeerregung durch den Nebenſtrom.** Daß der Nebenſtrom auch thermiſche Erſcheinungen hervorbringt, iſt bereits erwähnt worden; Rieß hat jedoch auch die Geſetze der Wärmeentwickelung durch den Nebenſtrom näher unterſucht. (P. A. 47. 65.)

In den Schließungsbogen der Nebenſpirale wurde eine Magnetiſirungs=

ſpirale und ein elektriſches Luftthermometer eingeſchaltet. Die folgende Tabelle enthält die thermiſchen und magnetiſchen Wirkungen, welche der Nebenſtrom hervorbringt, wenn die Oberfläche und die Ladung der Batterie geändert wird. s und q haben die bekannte Bedeutung.

s	q	Erwärmung beobachtet.	Erwärmung berechnet.	Magnetiſirung
5	15	3,8	3,4	
	20	6,2	6,0	
	25	9,0	9,4	
	30	12,0	13,5	
10	20	3,4	3,0	0,5°
	30	7,0	6,8	1,5
15	30	4	4,5	1,5
20	30	3,5	3,4	4,0
25	30	2,5	2,7	2,3
	40	4,4	4,8	−0,6
5	20*	6,2		8,8
	25*	8,3		2,0
	30*	9,8		−3,6

In der letzten Columne ſind die durch die magnetiſirte Nadel hervorgebrachten Ablenkungen der Bouſſole in der oben angedeuteten Beziehung verzeichnet. Wo keine Abſtoßung verzeichnet iſt, war die Magnetiſirung unmerklich.

Bis auf die drei letzten mit * bezeichneten Beobachtungen ſtimmen die beobachteten Erwärmungen ſehr wohl mit der Formel $h = a\,\frac{q^2}{s}$. Aus allen Beobachtungen (die von Rieß gegebene Tabelle enthält noch einige Beobachtungen mehr) ergiebt ſich für a der Mittelwerth 0,075; die mit dieſem Werthe nach der Formel $h = a\,\frac{q^2}{s}$ berechneten Werthe der Erwärmung ſtimmen ganz gut mit den beobachteten; die Formel

$$h = a\,\frac{q^2}{s}$$

gilt alſo auch für die durch den Nebenſtrom hervorgebrachten Erwärmungen.

Bei den mit * bezeichneten Beobachtungen war die Nebenſchließung unterbrochen, ſo daß der Nebenſtrom mit einem Funken übergehen mußte. Dies hat, wie bekannt, auf die Magnetiſirung einen ſehr bedeutenden Ein=

fluß, der ſich auch hier zeigt, während die Erwärmung nur unbedeutend dadurch afficirt wird; ſie fällt etwas kleiner aus.

Als in die Hauptſchließung ein 78‴ langer, $\frac{1}{12}$ Linie dicker Neuſilberdraht eingeſchaltet wurde, fielen die Erwärmungen kleiner aus, der Factor a, welcher oben gleich 0,075 gefunden worden war, ergab ſich nun gleich 0,028.

Wie leicht begreiflich, wird die Elektricitätsmenge im Nebenſtrom deſto größer ſeyn, ein je größerer Theil der Hauptſpirale unter ſonſt gleichen Umſtänden auf die Nebenſpirale einwirkt. Um die hierdurch entſtehende Vergrößerung des Nebenſtromes zu beſtimmen, wurde die Nebenſpirale BB, Fig. 59, nur durch den Platindraht des Thermometers geſchloſſen, zuerſt nur auf die geradlinige Verlängerung der Hauptſpirale AA geſchoben und die Erwärmung gemeſſen, welche durch die Entladung von $q = 20$ in $s = 5$ im Nebendrahte hervorgebracht wurde. Dann wurde in ſucceſſiven Verſuchen eine verſchiedene Anzahl von Windungen der Hauptſpirale unter die Nebenſpirale gebracht und dieſelbe Elektricitätsmenge auf dieſelbe Weiſe entladen. Dieſe Verſuche gaben folgende Reſultate.

Länge des geraden Drahtes.	Zahl der Windungen.	Erwärmung im Nebendraht.
134‴	0	1,85
102	24	4,9
63,4	53	7,6
24,8	82	11,5
0	101	14,0

Die Zahlen der letzten Columne ſind das Mittel aus zwei ſehr nahe daſſelbe Reſultat gebenden Verſuchen.

Da man weiß, welche Erwärmung (1,85) im Nebendraht der Einwirkung eines 134‴ langen gerade ausgeſpannten Stückes des Hauptdrahtes, ſo läßt ſich berechnen, welche Erwärmung im Nebendraht durch die Einwirkung eines 102‴, — 63, 4‴ u. ſ. w. langen geraden Stückes des Hauptdrahtes hervorgebracht wird und ſo iſt man im Stande, zu ermitteln, welche Erwärmung durch die Einwirkung von 24, 53, 82, 101 Windungen des Hauptdrahtes allein hervorgebracht wird; es ergiebt ſich

bei 24 Windungen	. .	3,5
» 53 » »	. .	6,7
» 82 » »	. .	11,2
» 101 » »	. .	14,0

Die Erwärmung iſt in der That der Anzahl der wirkenden Windungen

der Hauptſpirale ſehr nahe proportional, es ergiebt ſich alſo, daß die von dem Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Elektricitätsmenge unter ſonſt gleichen Umſtänden der wirkſamen Länge des Schließungsdrahtes proportional iſt.

Wenn über dieſelbe Hauptſpirale *AA* derſelbe Nebendraht einmal parallel mit der Hauptſpirale, dann aber mit ſteileren Windungen aufgewunden wird, ſo daß alſo die Hauptſpirale zwar immer ihrer ganzen Länge nach, aber einmal auf einen längern mit ihr gleichlaufenden und dann auf einen kürzeren und ſteiler laufenden Theil des Nebendrahtes einwirkt, ſo iſt im letzteren Fall die Wirkung begreiflicher Weiſe um ſo geringer, je mehr die Richtung der Windungen bei den Spiralen von einander abweicht, je ſteiler alſo die Nebenſpirale im Vergleich zur Hauptſpirale iſt.

Alle zu den bisherigen Verſuchen angewandten Spirale waren rechts gewunden. Auf die Stärke des Nebenſtromes iſt es nicht gleichgültig, ob die Nebenſpirale in gleichem oder entgegengeſetztem Sinne aufgewunden iſt, wie die Hauptſpirale. Auf eine rechts gewundene Hauptſpirale wurde 8′ Kupferdraht einmal rechts, einmal links aufgewunden, es ergab ſich

	Erwärmung.
Nebenſpirale rechts	15,4
» » links	2,7

Wirkung des Hauptdrahtes auf verſchiedene Nebendrähte. 60

Ein 26 Zoll langes Stück *ab* desjenigen Drahtes, welcher den Hauptdraht bildete, war geradlinig ausgeſpannt; parallel mit ihm lief ein auf gleicher Länge gerade ausgeſpanntes Stück *cd* des Nebendrahtes. Die ganze Nebenſchließung, in welche der elektriſche Luftthermometer eingeſchaltet wurde, beſtand aus Kupfer- und Eiſendraht. Mag nun das Stück *c d* der Nebenſchließung, welches *ab* gegenüber lag, ein Theil des Eiſendrahtes oder ein Theil des Kupferdrahtes ſeyn, welcher die Nebenſchließung bildet, ſo iſt bei gleicher Ladung der Batterie die Erwärmung des Thermometers dieſelbe, vorausgeſetzt, daß der Eiſendraht und der Kupferdraht gleiche Durchmeſſer haben und der Zwiſchenraum im Lichten zwiſchen *a b* und *c d* derſelbe iſt.

Wenn alſo der Leitungswiderſtand der geſammten Nebenſchließung nur unverändert bleibt, ſo iſt es für die Stärke des Nebenſtromes ganz gleichgültig, ob ein beſſer oder ein ſchlechter leitendes Drahtſtück der Einwirkung des Hauptdrahtes ausgeſetzt iſt.

Es war mir nicht möglich, die Anordnung der hierher gehörigen Verſuche aus der Beſchreibung (P. A. 50. 3) vollſtändig zu verſtehen.

61 **Abnahme des Nebenſtromes nach der Entfernung vom Hauptdraht.** Um zu ermitteln, wie die Einwirkung auf den Nebendraht mit der Entfernung vom Hauptdrahte abnimmt, müſſen die parallel laufenden Stücke eine größere Länge haben, weil ſonſt bei etwas großen Entfernungen die Erwärmung im Nebendrahte zu gering ausfällt.

Rieß (P. A. 50. 7) ſpannte zwei 10′ 6″ lange Kupferdrähte parallel aus. Der eine wurde durch 6 Fuß lange Kupferdrähte in den Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet, die Enden des andern wurden durch ähnliche Drähte mit dem Platindraht des Thermometers verbunden. Wenn die Axenentfernung der parallelen Drahtſtücke geändert wurde, ſo ergab ſich aus den Angaben des Thermometers, daß der von dem gerade ausgeſpannten Theile des Schließungsdrahtes der Batterie in dem parallelen Drahte erregte Strom in dem Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Axenentfernung der Drähte wächſt, vorausgeſetzt, daß man nicht von einer zu geringen Entfernung der Drähte ausgeht; wenn man nämlich die Drähte über eine gewiſſe Gränze nähert, ſo nehmen die Erwärmungen in geringerm Verhältniß zu, als die Entfernungen abnehmen.

Um einigermaßen bedeutende Erwärmungen durch den Nebenſtrom zu erlangen, muß man mit großen Drahtlängen operiren, deren Handhabung ſehr unbequem iſt, wenn ſie gerade ausgeſpannt ſeyn ſollen. Es iſt daher, wo man nur die Erregung eines intenſiven Nebenſtromes beabſichtigt, bei weitem vorzuziehen, die Drähte in flache Spirale aufzuwinden, wie dieß ſchon oben S. 144 beſchrieben wurde.

Der Strom, der von der Hauptſpirale in der Nebenſpirale erregt wird, iſt deſto ſchwächer, je weiter die Spiralen von einander entfernt ſind, aber man begreift leicht, daß zwiſchen der Stärke des Stromes und der Entfernung der Spiralen kein einfaches Verhältniß ſtattfinden kann, denn irgend ein Bogenſtück der Hauptſpirale erregt nicht allein in dem zunächſtliegenden nach derſelben Seite gekrümmten Stücke der Nebenſpirale einen Strom, ſondern auch in entfernteren entgegengeſetzt gekrümmten Stücken; letzterer iſt zwar ſchwächer, aber er wirkt dem erſteren entgegen und vermindert ſeine Wirkung. Offenbar aber ändert ſich das Verhältniß der beiden entgegengeſetzten Ströme in der Nebenſpirale, wenn die Entfernung der Spiralen geändert wird. Wenn man von ganz geringen Entfernungen der beiden Spiralen ausgeht, ſo nimmt die Stärke des Nebenſtromes anfangs weit langſamer, bei größerer Entfernung aber weit raſcher ab, als die Entfernung der Spiralen.

62 **Einwirkung von nebenſtehenden geſchloſſenen Leitern auf die Erregung des Nebenſtromes.** Auf dem Boden eines Zimmers ſpannte Rieß (P. A. 50. 12) drei 0,55‴ dicke Kupferdrähte in einer Länge von

10′ 6″ parallel neben einander aus. Dieſe Dråhte ſeyen der Ordnung nach mit *A*, *B* und *C* bezeichnet; die Axenentfernung von *A* und *B* betrug 4,45‴, die von *B* und *C* 2,35‴.

Der Draht *A* wurde in den Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet; von den Enden des Drahtes *C* führten 6′ lange Kupferdråhte zum Thermometer, ſo daß alſo der Thermometer in den Nebendraht *C* ſchloß. Als *B* ganz weggenommen wurde, ergab ſich für die Einheit der Ladung eine Erwårmung 0,135 im Thermometer. Als der Draht *B* wieder an ſeine Stelle gelegt wurde, ergab ſich faſt ganz genau dieſelbe Erwårmung, als aber die Enden von *B* durch einen 14 Fuß langen Kupferdraht verbunden wurden, wurde die Erwårmung nur 0,094 gefunden. Es folgt hieraus:

Der vom Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Strom bleibt unverändert, wenn zwiſchen beiden Dråhten ein Draht mit freien Enden liegt, der Strom wird aber vermindert, wenn der Zwiſchendraht in ſich geſchloſſen iſt.

Es iſt nicht gerade nöthig, daß der Draht *B* zwiſchen *A* und *C* liege, damit er den Strom in *C* ſchwåcht, welcher durch den Entladungsſtrom erzeugt wird, der den Draht *A* durchlåuft. *B* könnte jenſeits *C* oder jenſeits *A* liegen, ſo wird der durch den Hauptſtrom *A* im Nebendraht *C* erzeugte Nebenſtrom ſtets ſchwåcher ſeyn, wenn *B* geſchloſſen iſt, wenn alſo auch in *B* ein Nebenſtrom entſteht, als wenn dies nicht der Fall iſt. Wenn alſo der Hauptdraht der Batterie in zwei einander nahe ſtehenden Nebendråhten elektriſche Ströme erregt, ſo iſt jeder der beiden Nebenſtröme ſchwåcher, als wenn der andere nicht vorhanden wåre.

Zwei Spiralſcheiben von 6 Zoll Durchmeſſer, jede aus 13 Fuß 0,55 Linien dickem Kupferdraht gebildet, wurden 10‴ von einander entfernt aufgeſtellt. Das Thermometer der Nebenſpirale zeigte eine bedeutende Erwårmung (42 Scalentheile), als durch die Hauptſpirale die in 4 Flaſchen angehåufte Elektricitåtsmenge 20 entladen wurde. Als aber unter ſonſt gleichen Umſtånden dieſelbe Elektricitåtsmenge entladen wurde, wåhrend eine Kupferſcheibe von 6″ 10‴ Durchmeſſer und 0,33‴ Dicke zwiſchen beiden Spiralen aufgeſtellt war, zeigte das Thermometer der Nebenſpirale keine merkliche Erwårmung.

Dieſer bedeutende Effect der Kupferſcheibe hing offenbar von der guten Leitung ab, welche ſie dem Strom gewåhrte.

Soll die Zwiſchenſcheibe noch eine merkliche Erwårmung in der Nebenſpirale beſtehen laſſen, ſo muß ſie ſchlechter leiten. In dem Maaße, als

die Leitungsfähigkeit der Zwiſchenplatte abnimmt, wächſt der Strom in der Nebenſpirale.

Als Zwiſchenſcheibe wurde der Reihe nach angewandt 1) ein 0,01''' dickes Stanniolblatt; 2) ein ſolches von 0,0168''' Dicke; 3) beide zuſammen; 4) ein Blatt unächten Silberpapiers. Dieſe Blätter waren ſtets zwiſchen Glasplatten geklemmt, 1''' weit von der Hauptſpirale aufgeſtellt worden; als die beiden Spiralen 2½''' weit von einander abſtanden, ergaben ſich folgende Erwärmungen in der Nebenſpirale für die Einheit der Ladung:

Ohne Zwiſchenſcheibe	. . . . . .	0,66
Zwiſchenſcheibe:	unächtes Silberpapier .	0,57
» »	dünnes Stanniolblatt .	0,087
» »	dickes Stanniolblatt .	0,056
» »	beide Stanniolblätter .	0,034

Vergleicht man die drei zuletzt angegebenen Erwärmungen mit den entſprechenden Dicken der eingeſchalteten Stanniolblätter, ſo ergiebt ſich, daß die Stromſtärke im Nebendrahte der Dicke der eingeſchobenen Metallſcheibe umgekehrt proportional iſt.

Daſſelbe Reſultat erhielt man, als die Verſuche in gleicher Weiſe bei größerer Entfernung wiederholt wurden.

63 **Wirkung iſolirender Zwiſchenplatten auf die Bildung des Nebenſtromes.** Faraday hat bei der in Ruhe befindlichen Elektricität den verſchiedenen Iſolatoren ein ſpecifiſches Vertheilungsvermögen zugeſchrieben, ſo daß durch eine Glas- und Schellackplatte hindurch die Vertheilung weit ſtärker ſey, als durch Luft.

Man kann nun die Entſtehung des Nebenſtromes nicht gut anders, als durch eine Elektricitätserregung durch Vertheilung erklären, und dürfte daher einen Strom von verſchiedener Stärke erwarten, je nachdem zwiſchen die Haupt- und Nebenſpirale Scheiben von verſchiedenen iſolirenden Subſtanzen eingeſchaltet werden.

Da die feſten Iſolatoren ein größeres ſpecifiſches Vertheilungsvermögen beſitzen ſollen, als Luft, ſo würde ſich mit Hülfe des Nebenſtromes eine ſcharfe Grenze zwiſchen feſten Leitern und Iſolatoren der Elektricität ziehen laſſen. Während nämlich die Leiter als Zwiſchenplatten angewandt den durch Luft vermittelten Nebenſtrom verringern, müßten die Iſolatoren, als Zwiſchenplatten angewandt, denſelben verſtärken.

Rieß hat trotz ſorgfältiger Unterſuchung eine ſolche Verſtärkung des Nebenſtromes durch Einſchiebung iſolirender Zwiſchenplatten, als Glas, Schellack u. ſ. w. nicht finden können. Die Anwendung dieſer iſolirenden Zwiſchenplatten änderte nichts in der Stärke des Nebenſtromes, welche

genau eben ſo groß gefunden wurde, als ob ſich blos Luft zwiſchen den Spiralen befunden hätte. (P. A. 50. 18.)

Wirkung des Schließungsdrahtes der Batterie auf ſich ſelbſt. 64 In einem Drahte mit freien Enden kann, wie wir geſehen haben, durch Vertheilung kein elektriſcher Strom erregt werden. Der Schließungsdraht der elektriſchen Batterie iſt nun ein ſolcher Draht; da aber hier der Umſtand eintritt, daß ſeine freien Enden in ausgedehnte Metallflächen verlaufen, welche die Anhäufung entgegengeſetzter Elektricitäten geſtatten, ſo iſt es doch nöthig, experimentell zu unterſuchen, ob nicht ein Theil des Schließungsdrahtes auf einen andern Theil deſſelben vertheilend wirken könne.

Rieß ſuchte die Frage auf folgende Weiſe zu löſen (P. A. 50. 19).

Die beiden Spiralen, von denen der eine bisher als Haupt-, der andere als Nebenſpirale gedient hatte, wurden in geringer Entfernung einander gegenüber geſtellt und ſie dann ſo verbunden, daß ſie eine einzige Drahtleitung bildeten, ſo alſo, daß in dem Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet, der Entladungsſtrom durch den einen und durch den anderen gehen mußte.

Einmal wurde das Randende der einen Spirale mit dem Centrumende der anderen durch einen Kupferdraht verbunden, ſo daß wenn der Entladungsſtrom in der einen Spirale von der Mitte zum Rande lief, er auch in der anderen von der Mitte zum Rande laufen mußte, daß alſo der Entladungsſtrom die beiden Spirale in gleicher Richtung durchlief.

Dann wurde das Randende der einen Spirale mit dem Randende der anderen leitend verbunden, ſo daß der Strom, den der eine von der Mitte zum Rande durchläuft in der zweiten Spirale vom Rande zur Mitte geht, daß alſo der Entladungsſtrom die beiden Spiralen in entgegengeſetzter Richtung durchläuft.

Wenn nun ein Theil des Schließungsbogens auf den anderen eine Einwirkung ausüben kann, ſo muß im erſten Fall jede Spirale in der anderen einen mit dem Hauptſtrom gleich gerichteten, bei der letzten Verbindungsweiſe der Spirale aber einen dem Hauptſtrom entgegengeſetzten Strom erzeugen; im letzteren Falle müßte alſo caeteris paribus die Stromſtärke ſchwächer ausfallen als im erſten.

Würde nun außer den combinirten Spiralen noch das Thermometer in den Schließungsbogen eingeſchaltet, ſo zeigte es unter ſonſt gleichen Umſtänden völlig gleiche Erwärmung, mogten nun die Spiralen auf die eine oder andere Weiſe verbunden ſeyn, woraus folgt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den anderen wirkt.

65 **Verzögerung der elektriſchen Entladung durch Leiter, welche dem Schließungsdrahte der Batterie nahe ſtehen.** Rieß ſchaltete (P. A. 49. 393) in den Schließungsbogen der Batterie außer dem Luftthermometer noch einen 13′ langen, 0,55 Linien dicken Kupferdraht ein, der auf einer mit ſchwarzem Pech überzogenen, auf einem Glasfuße ſtehenden Holzſcheibe von 6″ Durchmeſſer zu einer flachen Spirale gewunden war, in der Weiſe, wie es bei dem Fig. 61 dargeſtellten Apparat der Fall iſt. Eine mit dem ſo eingerichteten Schließungsbogen gemachte Verſuchsreihe gab

$$h = 0{,}43 \frac{q^2}{s}.$$

Nun wurde parallel mit der Hauptſpirale $2\frac{1}{2}'''$ von ihr entfernt eine Kupferſcheibe von 6″ 10‴ Durchmeſſer uud 0,33‴ Dicke aufgeſtellt, und es ergab ſich

$$h = 0{,}41 \frac{q^2}{s}.$$

Endlich wurde parallel mit der Hauptſpirale eine ihr ganz gleiche Nebenſpirale aufgeſtellt, deren Enden in vollkommener metalliſcher Verbindung waren, und es ergab ſich

$$h = 0{,}42 \frac{q^2}{s}.$$

Alſo weder die Kupferſcheibe, noch die Nebenſpirale übten einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung im Schließungsbogen aus.

Statt der vollkommenen metalliſchen Schließung wurde nun an der Nebenſpirale eine unvollkommene angebracht, d. h. die Enden der Kupferſpirale wurden durch einen Platindraht von 138‴ Länge und 0,023‴ Radius geſchloſſen. Als die ſo geſchloſſene Nebenſpirale 5‴ weit von der Hauptſpirale aufgeſtellt wurde, ergab ſich

$$h = 0{,}32 \frac{q^2}{s},$$

als ſie aber nur $2\frac{1}{2}'''$ weit von der Hauptſpirale entfernt war, ergab ſich

$$h = 0{,}27 \frac{q^2}{s}$$

Die Nebenſpirale durch einen 460‴ langen und $\frac{1}{12}'''$ dicken Draht von Neuſilber geſchloſſen und $2\frac{1}{2}$ Linien von der Hauptſpirale entfernt aufgeſtellt, gab

$$h = 0{,}17 \frac{q^2}{s}.$$

Die Nebenſpirale durch eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre von 9 Zoll Länge geſchloſſen, gab

$$h = 0{,}39 \frac{q^2}{s}.$$

Wir wollen nun dieſe Reſultate einer etwas näheren Betrachtung unterwerfen.

Der Strom in den Schließungsbogen erregt, wie wir ſchon oben geſehen haben, einen Strom, ſowohl in der nahe geſtellten Kupferſcheibe als auch in der Nebenſpirale, der Strom in der Nebenſpirale kann aber in der Hauptſpirale keinen Strom induciren, weil dieſe nicht metalliſch geſchloſſen iſt (die beiden Belegungen der Flaſche ſind ja durch Glas getrennt), die einzig mögliche Einwirkung des Stromes in der Nebenſpirale auf den Strom in der Hauptſpirale iſt die, daß er etwa eine Verzögerung des Entladungsſtromes bewirkt.

Wenn nun die Schließung der Nebenſpirale vollkommener iſt, als die der Hauptſpirale, ſo wird auch der Strom der Nebenſpirale raſcher verlaufen als der der Hauptſpirale, und deshalb kann keine Rückwirkung von der Nebenſpirale auf die Hauptſpirale ſtattfinden, daher denn auch bei guter Schließung der Nebenſpirale die Erwärmung im Schließungsbogen nur unbedeutend geringer gefunden wurden, als wenn gar keine Nebenſpirale vorhanden geweſen wäre.

Bei unvollkommen metalliſcher Schließung der Nebenſpirale, iſt der Nebenſtrom von längerer Dauer, der Entladungsſtrom im Hauptdraht findet alſo während ſeiner ganzen Dauer den Nebendraht von einem gleichgerichteten Strom durchlaufen, und wir müſſen annehmen, daß dies die Urſache der Verzögerung des Hauptſtroms iſt, welche ſich durch die verringerte Erwärmung kund giebt; durch unvollkommene Schließung der Nebenſpirale wurde ja die Erwärmung im Hauptſtrom im Verhältniß von 0,43 bis zu 0,17 herabgebracht.

Bei Einſchaltung der Waſſerröhre in der Schließung der Nebenſpirale wird die Erwärmung im Hauptdraht wieder größer, ja faſt ſo groß, als ob gar keine Nebenſpirale dageweſen wäre, was ſich ſehr gut dadurch erklärt, daß bei ſehr ſchlechter Schließung der Nebenſpirale kein merklicher Nebenſtrom erregt wird.

Der Umſtand, daß bei ganz vollkommener ſowohl, als auch bei ganz ſchlechter Schließung der Nebenſpirale die Wirkung auf den Hauptdraht geringer iſt, als für eine mittelmäßig gute Schließung, läßt erwarten, daß, wenn man die Nebenſpirale durch längere und immer längere dünne Drähte ſchließt, daß alsdann anfangs die Erwärmung im Schließungsbogen der Hauptſpirale abnimmt, daß bei einer beſtimmten Länge des eingeſchalteten Drahtes die Wirkung der Nebenſpirale ein Maximum wird, daß ſie wieder abnimmt, daß alſo die Erwärmung im Schließungsbogen die Hauptſpirale wieder zunimmt, wenn man den Draht, durch welchen die Nebenſpirale geſchloſſen iſt, nun noch mehr verlängert.

Dies wird durch Verſuche beſtätigt, welche Rieß angeſtellt hat (P. A.

51. 177). Bezeichnen wir durch 100 die Erwärmung, welche an dem Thermometer beobachtet wurde, welches in den Schließungsbogen der Hauptſpirale eingeſchaltet iſt, wenn die Nebenſpirale durch einen kurzen dicken Kupferdraht geſchloſſen war, ſo ergab ſich:

Bei Einſchaltung von 0,1577‴ dickem Neuſilberdraht, deſſen Länge betrug	eine Erwärmung.
4,8′	70
9,8	55
19,7	52
29,6	48
39,4	52
88,7	61
138	66
286	76
582	87
Nebenſpirale offen.	100.

Man ſieht aus dieſer Tabelle, wie bei zunehmender Länge des in die Schließung der Nebenſpirale eingeſchalteten Neuſilberdrahtes anfangs die Erwärmung des Thermometers in der Schließung der Hauptſpirale ſehr raſch abnimmt, daß ſie ein Minimum wird, wenn die Länge des eingeſchalteten Neuſilberdrahtes 29,6 pariſer Fuß beträgt, für welchen Fall die Erwärmung nur noch 48 Procent von der beträgt, welche bei vollkommener Schließung der Nebenſpirale beobachtet wird. Wächſt die Länge des eingeſchalteten Drahtes über 29,6 hinaus, ſo nimmt die Erwärmung allmälig wieder zu; durch eine Verlängerung des Neuſilberdrahtes bis auf 582 Fuß ſteigt die Erwärmung wieder bis auf 87 Procent der urſprünglichen.

Ein neben dem Schließungsdraht der elektriſchen Batterie befindlicher metalliſch geſchloſſener Draht, wirkt alſo nach Maaßgabe ſeiner Schließung auf die Batterieentladung verzögernd ein. Wird die Schließung des Nebendrahtes progreſſiv verlängert, ſo nimmt die Einwirkung deſſelben zu, erreicht ein Maximum und nimmt von dort fortwährend wieder ab.

Die Veränderungen, welche die Erwärmung im Hauptdrahte durch die Verlängerung des Nebendrahtes erleidet, befolgen das in der letzten Tabelle angeführte Geſetz, mag nun die Ladung der Batterie ſtärker oder ſchwächer ſeyn, bei ſtärkerer Ladung ſowohl wie bei ſchwächerer iſt die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes ein Maximum, wenn die Nebenſpirale durch 29,6 Fuß des erwähnten Neuſilberdrahtes geſchloſſen iſt; die Erwärmung im Hauptdraht iſt in dieſem Fall 48 Procent von der, welche

man bei gleicher Ladung beobachtet haben würde, wenn die Nebenſpirale vollkommen metalliſch geſchloſſen geweſen wäre; ſobald aber der Schließungsbogen des Hauptdrahtes durch Einſchaltung eines dünnen Drahtes verlängert wird, ändert ſich der Gang der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes.

In der Hauptſchließung wurde ein Platindraht von 7″ 5‴ Länge und 0,023‴ Radius eingeſchaltet, und nun ergaben ſich die in folgender Tabelle zuſammengeſtellten Reſultate.

Nebenſpirale geſchloſſen durch Neuſilberdraht von der Länge	Erwärmung im Hauptdraht
0′	100
29,6	82
49,3	78
69	78
237	91
572	99.

Wie man ſieht, findet jetzt bei verlängerter Hauptſchließung das Maximum der Wirkung des Nebendrahtes erſt bei einer größeren Länge der Einſchaltung in die Nebenſpirale Statt, außerdem aber iſt die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes jetzt viel geringer. Während bei der früheren Verſuchsreihe die Erwärmung im Hauptdrahte durch das Maximum der Wirkung der Nebenſpirale auf 48 Procent herabgebracht wurde, bewirkt jetzt das Maximum der Wirkung der Nebenſpirale nur eine Reduction auf 78 Procent derjenigen Erwärmung, welche man ohne Nebenſpirale, oder bei ganz vollkommener Schließung derſelben beobachtet haben würde.

Es iſt dies leicht zu erklären. Es wird ein um ſo ſtärkerer Nebenſtrom erregt, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt, und dem ſtärkeren Nebenſtrome müſſen wir auch eine ſtärkere Rückwirkung auf die Entladung zugeſtehn. In beiden Verſuchsreihen war es dieſelbe Länge des Hauptdrahtes, nämlich eine Länge von 13 Fuß Kupferdraht, welche auf eine gleiche Länge des Nebendrahtes einwirkte. Bei der erſten Verſuchsreihe machen dieſe 13′, bei weiten den größten Theil des Schließungsbogens der Batterie aus, bei der zweiten Verſuchsreihe war aber ein Platindraht eingeſchaltet, deſſen Verzögerungskraft gleich iſt der eines 568 Fuß langen, 0,55‴ dicken Kupferdrahtes, in dem letzten Falle wirkte alſo ungefähr nur der 44ſte Theil der Geſammtlänge des Hauptdrahtes auf die Nebenſpirale.

Rieß ließ noch zwei Spiralſcheiben machen, deren jede 53½ Fuß Ku-

pferdraht von $^2/_3$ Linie Dicke enthielt. In die Hauptſchließung wurde die große und die kleine Spirale eingeſchaltet.

War nun der kleinen Hauptſpirale die kleine Nebenſpirale in 2 Linien Entfernung gegenüber geſtellt, ſo fand das Maximum der verzögernden Wirkung der Nebenſpirale Statt, als ſie durch 29,6′ Neuſilberdraht geſchloſſen war. Bei dieſem Maximum der Wirkung der Nebenſpirale war die Erwärmung in der Hauptſchließung noch 76 Procent von derjenigen, welche man ohne Nebenſpirale oder bei vollkommner Schließung derſelben beobachtete.

Als die große Nebenſpirale der großen Hauptſpirale in 2 Linien Entfernung gegenüberſtand, fand das Maximum der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes Statt, als derſelbe durch 79 Fuß Neuſilberdraht geſchloſſen war, und bei dieſer Schließung wurde die Erwärmung im Hauptdraht durch die verzögernde Wirkung der Nebenſpirale bis auf 25 Procent herabgebracht.

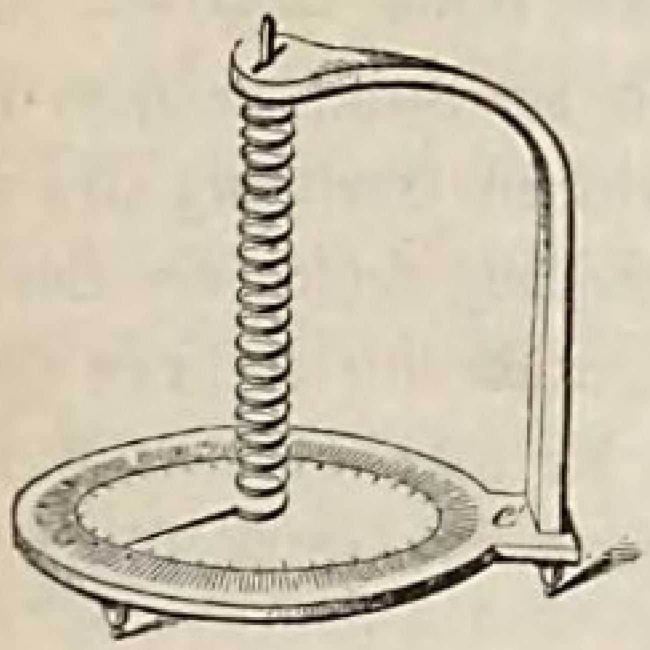
Endlich wurden die beiden Nebenſpiralen gehörig verbunden den beiden Hauptſpiralen gegenüber geſtellt, und nun mußten 138 Fuß Neuſilberdraht in die Nebenſchließung eingeſchaltet werden, um das Maximum der verzögernden Wirkung zu erhalten, und dabei die Erwärmung im Hauptdraht auf 20 Procent derjenigen herabgebracht, die man ohne Nebenſpirale beobachtet haben würde. Es folgt aus dieſen Verſuchen:

Das Maximum der Wirkung eines Nebendrahtes auf die elektriſche Entladung, welches durch Verlängerung der Nebenſchließung erreicht wird, iſt ein deſto größeres, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Zugleich iſt aber auch zur Erreichung dieſes Maximums eine um ſo längere Schließung des Nebendrahtes erforderlich.

Die Länge des Platindrahtes im Luftthermometer betrug bei dieſen Verſuchen 143,5 Linien. Der Platindraht im Thermometer, welcher ſehr lang iſt im Verhältniß zur ganzen Schließung, kann aber niemals vertheilend auf den Nebendraht wirken; um zu machen, daß ein möglichſt großer Theil des Hauptdrahtes auf die Nebenſpirale wirkt, müßte man den Draht im Thermometer verkürzen, wodurch allerdings die Wirkung des Hauptdrahtes auf den Nebendraht vermehrt, dagegen aber auch die Empfindlichkeit des Thermometers vermindert wird. Rieß wandte nun, um den Platindraht, welcher die Hauptſpirale ſchließt, mehr verkürzen zu können, ſtatt des Luftthermometers ein Berguet'ſches Metallthermometer an.

In der Axe einer empfindlichen thermometriſchen Spirale, ähnlich der in Fig. 63 abgebildeten, wurde ein gradliniger Platindraht von 61,5 Li-

Fig. 63.



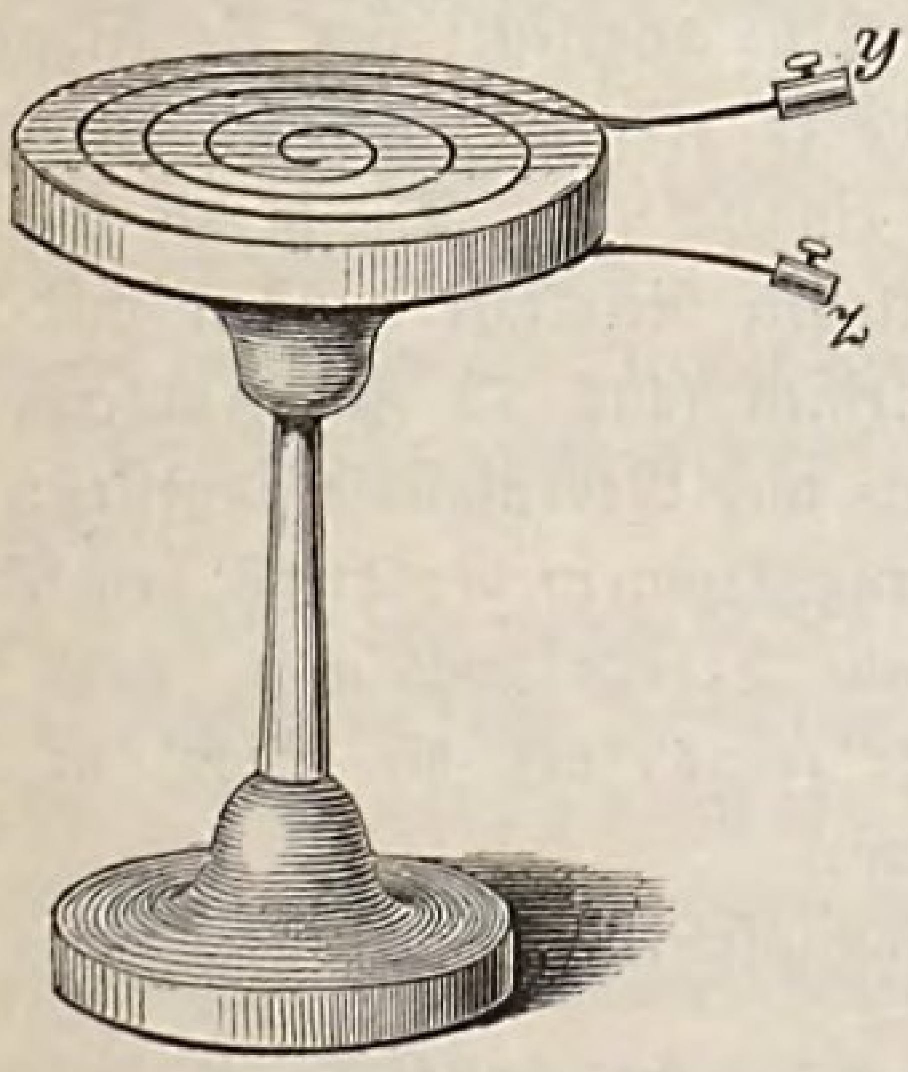
nien Länge und 0,04''' Radius unverrückbar befeſtigt, und auf zweckmäßige Weiſe in den Schließungsbogen eingeſchaltet. Das Inſtrument wird natürlich unter eine Glasglocke geſtellt. Durch eine Batterieentladung wird der Platindraht in der Axe der Spirale erwärmt, er theilt dieſen ſeine Wärme mit, der Zeiger durchläuft eine Anzahl Grade, kehrt aber ſogleich wieder auf ſeinen früheren Stand zurück, weil die Abkühlung wegen des großen Volumens der Luft unter der Glocke raſch erfolgt.

Die Verſuche mit dem Metallthermometer lehren nichts neues, ich glaube ſie deßhalb nicht weiter anführen zu müſſen, dagegen glaubte ich dieſe Beobachtungsmethode nicht unerwähnt laſſen zu dürfen.

Richtung des elektriſchen Nebenſtromes. Um zu unterſuchen, ob 66
die Richtung des Nebenſtromes ſich mit der Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht ändern, wandte Rieß folgende Methode an. (P. A. 51. 351.)

Bringt man zwiſchen den freien Enden der Nebenſpirale einen Iſolator an, welcher von der Elektricität nicht durchbrochen wird, ſo entſteht kein Nebenſtrom. Nichtsdeſtoweniger iſt das elektriſche Gleichgewicht des Nebendrahtes durch den Act, welcher den Nebenſtrom einleitet, zerſtört worden, wie ſich durch folgenden Verſuch zeigen läßt.

Fig. 64.



Bringt man zwiſchen die freien Enden der Nebenſpirale eine dünne Harzſcheibe, ſo daß die beiden Drahtenden auf den entgegengeſetzten Flächen einander gegenüberſtehen, ſo zeigen ſich nach der Entladung der Batterie durch den Hauptdraht die beiden Flächen der Harzſcheibe auf das beſtimmteſte unterſchieden. Es ſind auf derſelben eigenthümliche elektriſche Figuren entſtanden, zu deren Erkennung in den meiſten Fällen ein leichtes Anhauchen der Fläche hinreicht. Will man die Figuren fixiren, ſo geſchieht dies, wie es Lichtenberg gelehrt hat, durch Bepuderung derſelben mit einem Gemenge von Schwefelblumen und Mennige. Auf der einen Fläche der Harzplatte entſteht hierdurch eine rothe Scheibe mit rother Kreiseinfaſſung, auf welcher ein dunkler (nicht beſtäubter) Ring folgt, von welchem gelbe

Strahlen ausgehen. — Auf der anderen Fläche ſind gelbe und rothe Kreisſegmente ſichtbar, die von einem breiten rothen Ring eingefaßt ſind.

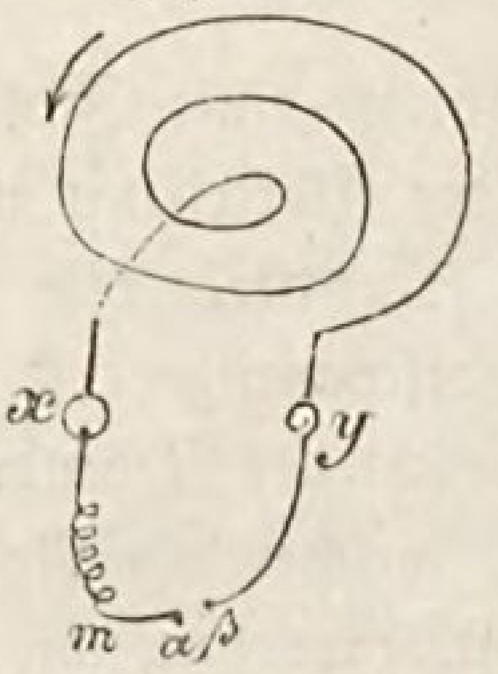
Fig. 65.

Fig. 66.

Die Strahlen und der Ring nehmen mit der Stärke der elektriſchen Erregung zu; nur bei ſehr ſchwacher Erregung fehlen die Strahlen der erſten Figur, und eine einfache rothe Scheibe bleibt übrig, die indeß hinlänglich von der zweiten Figur unterſchieden iſt, in welcher ſtets der rothe Ring erkennbar bleibt.

Jede dieſer Figuren iſt aus den beiden Grundformen zuſammengeſetzt, die Lichtenberg als poſitive und negative unterſchieden hat, man kann deshalb aus dieſen Figuren noch nicht auf die Richtung des Nebenſtromes ſchließen.

Bei den folgenden Verſuchen waren die Enden der Nebenſpirale durch Kupferdrähte verlängert, von welchen der eine zum Theil eine kurze, eng rechtsgewundene Schraube bildete. In Fig. 67 mögen x und y die Enden der Nebenſpirale bezeichnen, an welchen die erwähnten Drähte anſitzen. Sollte eine Stahlnadel magnetiſirt werden, ſo wurden die Drahtenden α und β metalliſch verbunden, und eine Stahlnadel in die Schraube bei m eingelegt; um die Figuren auf der Harzſcheibe zu erhalten, wurden dieſelben zwiſchen α und β eingeſchaltet. Die in der folgenden Tabelle erhaltenen Reſultate wurden mit der eben erwähnten kleinen (aus 13 Fuß Kupferdraht beſtehenden) Haupt- und Nebenſpirale angeſtellt.

Fig. 67.


In der Hauptſpirale ging der Entladungsſtrom in der durch den Pfeil bezeichneten Richtung durch. Die folgende Tabelle zeigt nun, was für eine magnetiſche Polarität das Nadelende zeigte, als die Nadel in der Drahtſchraube lag, und nach m gekehrt war.

Zwiſchen beiden Spiralen war eine Glastafel eingeſchaltet.

Entfernung der Spiralen	Hauptdraht	Elektricitätsmenge	Polari ät bei m
1‴		5	*N*
1		10	*N*
1	verlängert	10	*S*
1		30	*N*
1	verlängert	30	*S*
25		30	*N*
25	verlängert	30	*S*
39,5		30	*S*

Man ſieht, daß bei gleicher Richtung des Hauptſtromes der Magnetismus der Nadel doch mit den übrigen Umſtänden wechſelte, woraus man eben auf eine verſchiedene Richtung des Nebenſtromes ſchloß. Als aber zwiſchen α und β die Harzſcheibe eingeſchaltet wurde, ergab ſich, wenn die Entladung der Batterie durch die Hauptſpirale unter allen den in der Tabelle angegebenen Umſtänden wiederholt wurde, daß die Fig. 65 ſtets auf der dem Drahtende β zugekehrt geweſenen Seite der Harzſcheibe ſich bildete, ein Beweis, daß die Richtung des Nebenſtromes ſtets dieſelbe bleibt, wie auch der Magnetismus der Nadel ſich umkehren mag.

Zur Erzeugung der Figuren wandte Rieß eine kleine Glas- oder Kupferplatte an, welche auf beiden Seiten mit einem dünnen Ueberzug von ſchwarzem Pech oder Harz verſehen waren.

Eine ſchon gebrauchte Harzfläche muß über einer Weingeiſtflamme bis zum Schmelzen erhitzt werden, ehe ſie wieder angewendet werden kann.

Die Richtung des Nebenſtromes, welche, wie ſchon bemerkt, ſich nicht unmittelbar aus den Figuren auf der Harztafel beſtimmen läßt, wurde folgendermaßen ermittelt. Zwei dreizöllige Condenſatoren wurden durch eine dünne Glimmerplatte getrennt; die unteren mit dem Drahtende α berührt, dem oberen aber das Drahtende β genähert, ſo daß hier bei Entladung der Batterie ein kleiner bläulicher Funken überſpringt. Nachdem die Batterie durch die Hauptſpirale entladen worden war, wurde die obere Platte abgehoben und am Elektrometer geprüft. Bei poſitiver Ladung der Batterie wurde die von dem Drahtende β berührt geweſene Condenſatorplatte negativ elektriſch gefunden. Die Strahlenfigur, Fig. 65, iſt alſo ſtets von der mit negativer Elektricität geladenen Spitze erzeugt, und demnach *hat alſo der Nebenſtrom ſtets gleiche Richtung mit dem Hauptſtrom.*

Die Verſuche, welche Rieß machte, die Richtung des Nebenſtromes durch Zerſetzung von Jodkalium zu ermitteln, ſchlugen fehl; es gelang nicht, eine Zerſetzung durch den Nebenſtrom zu erhalten (P. A. 47. 74).

Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität. Die 67
Windungen eines Multiplicators, welcher dazu dienen ſoll, durch einen Strom von Reibungselektricität eine Ablenkung der Magnetnadel hervorzubringen, müſſen ſehr gut iſolirt ſeyn. Rieß (P. A. 40. 348) conſtruirte einen ſolchen Multiplicator aus einem 105 Fuß langen, $\frac{1}{6}'''$ dicken Kupferdraht, welcher dreifach mit Seide überſponnen und in 260 Windungen, die 5 Lagen bildeten, auf einen paſſenden Rahmen aufgewunden war. Bevor eine Drahtſtrecke aufgewunden wurde, wurde ſie erſt zweimal mit Schellackfirniß überſtrichen und dann die Aufwickelung vorgenommen, bevor noch der Firniß ganz trocken war. Jede Lage wurde noch einmal im Ganzen gefirnißt.

Die zugehörigen cylindriſchen, aſtatiſch combinirten Magnetnadeln waren 22,5''' lang, 0,4 Linien dick und 5''' von einander entfernt. Die combinirten Nadeln brauchten 6,6 Secunden zu einer Oscillation.

Wird das eine Drahtende eines ſolchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeug der Elektriſirmaſchine in leitende Verbindung geſetzt, ſo kann man beim Drehen derſelben eine Ablenkung von 10 bis 20 Grad erhalten.

Wenn durch den Entladungsſtrom der elektriſchen Batterie die Nadel abgelenkt werden ſoll, ſo muß man bekanntlich die Entladung durch Einſchaltung ſchlechter Leiter, feuchte Schnüre, mit Waſſer gefüllte Glasröhren u. ſ. w. verzögern.

Die neueſten Verſuche, welche Rieß über dieſen Gegenſtand anſtellte (P. A. 67. 535), ergaben das Reſultat, daß die Ablenkung einer Magnetnadel durch den Draht, welcher eine elektriſche Batterie langſam entladet, *von der Oberfläche der Batterie unabhängig iſt*, vorausgeſetzt, daß eine vollſtändige Entladung derſelben ſtattfindet; es iſt alſo für die Ablenkung der Nadel gleichgültig, ob dieſelbe Elektricitätsmenge auf eine oder mehrere Flaſchen vertheilt iſt.

Faraday hatte verſucht (Experimentalunterſuchungen, 363. P. A. 29), den Entladungsſtrom der Batterie mit dem eines Volta'ſchen Stromes zu vergleichen. Nachdem er durch eine Batterieentladung eine beſtimmte Ablenkung der Magnetnadel erhalten hatte, conſtruirte er ein Volta'ſches Element, welches, $3^1/_5$ Secunden wirkend, dieſelbe Ablenkung hervorbrachte, wie die Batterieentladung, und ſchloß, daß die von dem Element gelieferte Elektricitätsmenge der in der Batterie angehäuften gleich ſey.

Rieß macht, und zwar mit Recht, darauf aufmerkſam, daß dieſer Schluß wenig gerechtfertigt iſt, indem die momentane Wirkung des Entladungsſtromes der Batterie auf die Nadel weſentlich von der eines galvaniſchen Stromes verſchieden ſeyn muß.

Ich habe von den Rieß'ſchen Unterſuchungen berichtet, ohne den Gang der Darſtellung durch den Bericht über die Unterſuchungen zu unterbrechen, welche Andere über denſelben Gegenſtand anſtellten. Wenden wir uns jetzt zu dieſen Arbeiten.

68 **Knochenhauer's Arbeiten über den Nebenſtrom.** In einem zweiten Artikel, welcher ebenfalls die Ueberſchrift: »*Verſuche über die gebundene Elektricität*« führt (P. A. 58. 391), beſpricht Knochenhauer das Geſetz, nach welchem die Stärke des Nebenſtromes abnimmt, wenn die Entfernung des Hauptdrahtes wächſt.

Rieß hat, wie bereits Seite 150 angeführt wurde, gezeigt, daß die Stärke des Nebenſtromes in demſelben Verhältniß abnimmt, in welchem die Axenentfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht wächſt.

Knochenhauer meint, dies Geſetz ſey »augenſcheinlich unzureichend«. Wahrſcheinlich von der Idee ausgehend, daß der Nebenſtrom auch ein Phänomen der Bindung ſey, ſucht Knochenhauer ſein auf Seite 45 bereits angeführtes Geſetz auch hier in Anwendung zu bringen.

Daß ein Geſetz, zwiſchen Wirkung und Entfernung, welches für den Fall kugelförmiger Körper paßt, bei denen man alle Wirkung als von einem Punkte ausgehend betrachten kann, nicht zugleich für parallel nebeneinander herlaufende Drähte gelten könne, hindert Hrn. Knochenhauer nicht daran. — Sein Geſetz hat eine ſo bewundernswürdige Elaſticität, daß es durch bloße Veränderung der conſtanten Factoren auch für den Nebenſtrom paßt; nach ſeiner Meinung beſteht zwiſchen der Stärke des Nebenſtromes (durch den Luftthermometer gemeſſen) und der Entfernung der Drähte ebenfalls die Beziehung

$$\Theta = A\, a^{\sqrt{n}},$$

wo Θ die Erwärmung des Thermometers im Nebendraht, n die Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht bezeichnet.

Dieſes n iſt aber nicht die Axenentfernung, ſondern die Entfernung der Drähte im lichten, wobei er als Einheit 3''' annimmt, die Größe von n iſt alſo aus den von Rieß gegebenen Axenentfernungen d erſt zu berechnen.

Zunächſt vergleicht er ſeine Formel mit den von Rieß gefundenen Reſultaten. Die Reſultate einer Beobachtungsreihe von Rieß ſtellt er in der folgenden Tabelle mit den nach ſeiner Formel berechneten Werthen zuſammen.

d	Θ beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71'''	0,216	0,219	+ 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,104	— 0,015
16,01	0,081	0,079	— 0,002
19,61	0,066	0,066	0,000
23,87	0,054	0,055	+ 0,001

In der That ſtimmen die beobachteten und die nach obiger Formel berechneten Werthe ganz genügend, wenn man $A = 0{,}401$, $a = 0{,}4897$

ſetzt. Ja, die Formel ſtimmt auch noch für ganz geringe Entfernungen der Drähte, für welche aus begreiflichen Gründen das Rieß'ſche Geſetz nicht mehr gelten kann.

Spricht aber nicht dieſe wirklich genügende Uebereinſtimmung der Knochenhauer'ſchen Formel mit der Beobachtung für die Richtigkeit derſelben? Gewiß nicht. Wenn man über zwei Conſtante zu disponiren hat, ſo laſſen ſich mit Leichtigkeit eine ganze Maſſe Formeln auffinden, die daſſelbe leiſten, d. h. die ſich den wenigen und innerhalb ſo enger Grenzen beobachteten Zahlen ebenſo eng anſchließen. Als Beleg führe ich

$$\Theta = A + b \log d,$$

die erſte beſte willkürliche Formel an, die mir in den Sinn kam; in dieſer Formel ſollen Θ die Erwärmung im Nebendraht, d die Axenentfernung der Drähte bezeichnen. Setzt man hier $A = 0{,}276$, $b = 0{,}16$, ſo ſchließt ſich dieſe Formel den Rieß'ſchen Beobachtungen eben ſo gut an, wie den Knochenhauer'ſchen, wie man aus folgender Tabelle ſieht, in der die dritte Vertikalreihe die nach der Formel $\Theta = A + b \log. d$ berechneten Werthe enthält.

d	d beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71'''	0,210	0,207	— 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,107	— 0,012
16,01	0,081	0,084	+ 0,003
19,61	0,066	0,069	+ 0,003
23,87	0,054	0,056	— 0,002

Trotz dieſer Uebereinſtimmung zwiſchen Beobachtung und Rechnung kann aber dieſe Formel gewiß eben ſo wenig wie die Knochenhauer'ſche Anſpruch darauf machen, das Geſetz auszudrücken, nach welchem die Stärke des Nebenſtromes mit der Entfernung vom Hauptdraht abnimmt.

Knochenhauer hat ſelbſt eine Reihe von Verſuchen angeſtellt, welche ſeine Formel beſtätigen ſollen, und durch welche er zeigen will, daß die Größe des Factors a von der Leitungsfähigkeit der Hauptſchließung, der Nebenſchließung u. ſ. w. abhängt. Die Beſchreibung der Art und Weiſe, wie die Verſuche angeordnet, wie die Drähte geſpannt waren u. ſ. w., iſt höchſt undeutlich, und da ich die Unzuläſſigkeit der Knochenhauer'ſchen Formel nachgewieſen zu haben glaube, möchte wohl eine weitere Beſprechung dieſer Verſuche unnöthig ſeyn.

Dieſe Abhandlung bildet den Uebergang zu weiteren Unterſuchungen, die ſich mit dem Nebenſtrom und dem Strom in verzweigten Schließungsbogen beſchäftigen. Folgendes ſind die Titel der hierhergehörigen Abhandlungen:

Ueber den Nebenſtrom im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 60 — 70 u. 235.

Ueber die elektriſchen Ströme im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 61. 55.

Ueber die Schwächung des Hauptſtromes bei getheiltem Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 62. 353.

Ueber den Zuſammenhang der Formeln, welche die Wärmeentwickelung durch den elektriſchen und den galvaniſchen Strom beſtimmen. P. A. 62. 207.

Verſuche über den elektriſchen Nebenſtrom. P. A. 64. 64 und P. A. LXVI. 235.

Beſtimmung der compenſirten Drahtlängen ohne Luftthermometer. P. A. LXVII. 327.

Löſung des kürzlich über die Verzweigung galvaniſcher Ströme aufgeſtellten Problems für den Entladungsſtrom der elektriſchen Batterie. P. A. LXVIII. 136.

Ueber die Spannungsverhältniſſe beim Ladungsſtrom der elektriſchen Batterie. P. A. LXIX. 77.

Ueber den Vergleich der elektriſchen Formeln mit den galvaniſchen. P. A. LXIX. 421.

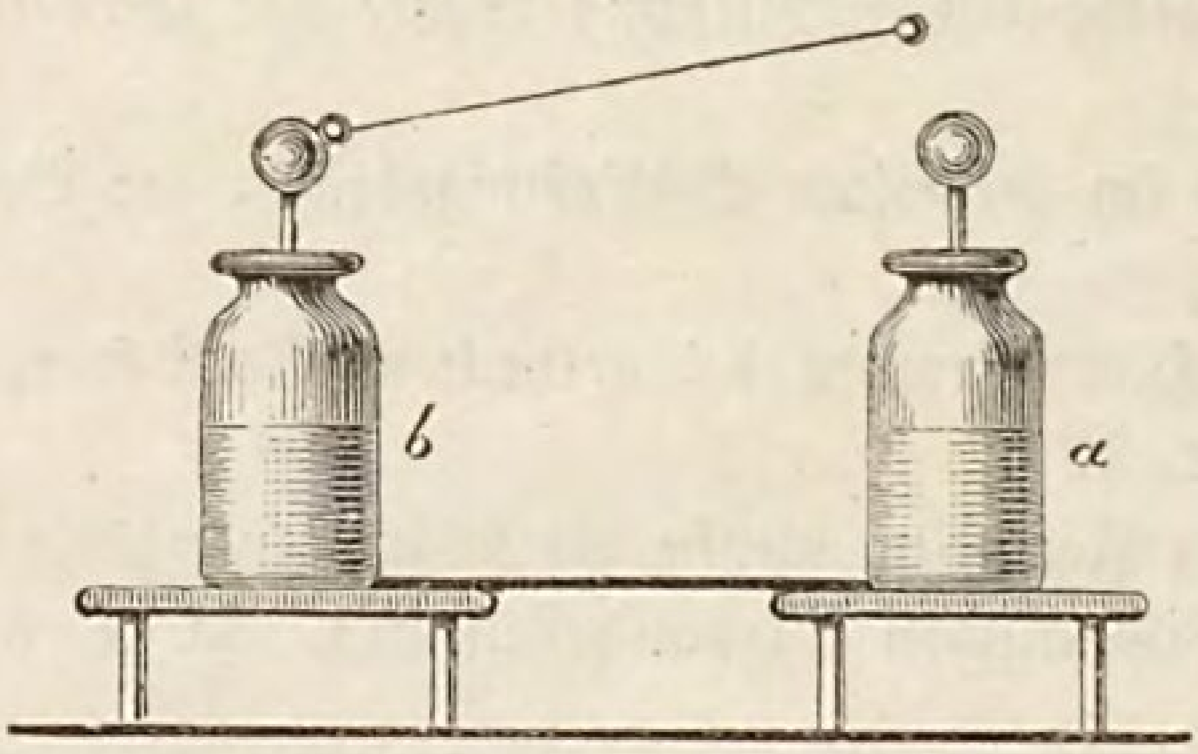
Die in dieſen Abhandlungen beſprochenen Verſuche ſind ſchlecht beſchrieben; die Betrachtungen, ſchwülſtig, verworren und voll ſchwerfälliger Formeln, führen nicht zu einfach klar und beſtimmt hingeſtellten Reſultaten.

Sollte in dem Chaos der erwähnten Abhandlungen wirklich ein entwickelungsfähiger Kern enthalten ſeyn, ſo wird ſich Herr Knochenhauer wohl entſchließen müſſen, ihn ſeiner nebelhaften Umgebung zu entrücken und beſſer ins Licht zu ſetzen, wenn er demſelben Anerkennung verſchaffen will.

Da es der Zweck dieſes Berichtes iſt, dem Leſer die Fortſchritte der Phyſik darzulegen, nicht aber ihn mit der Kritik unfruchtbarer Arbeiten zu beläſtigen, ſo glaube ich die Abhandlungen Knochenhauers über den Nebenſtrom und verwandte Gegenſtände nicht weiter beſprechen zu müſſen. Die Kritik der oben näher beſprochenen Abhandlungen wird genügen, mich in dieſer Beziehung zu rechtfertigen.

69 **Ladungsſtrom der elektriſchen Batterie.** In Fig. 68 ſtellen *a* und *b* zwei elektriſche Batterien dar, welche beide iſolirt ſind. Die äußeren Belegungen beider Batterien ſeyen in metalliſcher Verbindung, *a* ſey geladen, *b* ſey ungeladen.

Fig. 68.



Wenn nun irgend ein paſſender Auslader, welcher dem Knopfe der ungeladenen Flaſche *b* anliegt, dem Knopfe der geladenen Flaſche genähert wird, ſo wird ein Funken überſpringen, die Flaſche *a* wird theilweiſe entladen, ein Theil der (wie wir annehmen wollen, poſitiven) Elektricität, welche auf der inneren Belegung von *a* angehäuft war, ſtrömt unter Funkenbildung auf die innere Belegung von *b* über, während durch die leitende Verbindung der äußeren Belegungen eine entſprechende Menge negativer Elektricität ohne Funkenbildung von *a* nach *b* überſtrömt.

Auf dieſe Weiſe nun wird *a* theilweiſe entladen, *b* dagegen geladen; die Ladung von *b* iſt nicht wie bei gewöhnlicher Flaſchenladung eine allmälige, ſondern eine ſehr raſche. Dove nennt nun den Strom, welcher von der äußeren Belegung von *a* zur äußeren Belegung von *b* überſtrömend, letztere Batterie ladet, den Ladungsſtrom, und hat die Wirkungen dieſes Ladungsſtromes mit den Wirkungen des ſchon mehrfach unterſuchten Entladungsſtromes (Entladungsſchlages) verglichen. Er fand folgende Reſultate (P. A. LXIV. 81).

1) Induction. In den äußeren Verbindungsdraht wurde eine cylindriſche Inductionsſpirale eingeſchaltet, welche äußerlich von einer Nebenſpirale umgeben war. Die Wirkungen waren dieſelben, wie beim Entladungsſchlag.

2) Funken. Unterbricht man den äußeren Verbindungsdraht, ſo entſteht in dem Moment, in welchem der Funke am inneren Verbindungsdraht überſpringt, an der Unterbrechungsſtelle des äußeren ein weißglänzender ſchallender Funke. Schaltet man in den inneren Verbindungsdraht einen naſſen Faden ein, ſo nimmt der Funke hier eine rothgelbe Farbe an und tönt ſchwach; dieſelbe Veränderung zeigt ſich dann auch an der Unterbrechungsſtelle des äußeren Verbindungsdrahtes, in welchem kein naſſer Faden eingeſchaltet iſt.

Dove fand ferner, daß der Ladungsſtrom

3) galvanometriſche Wirkungen,

4) Magnetiſiren des Stahls,
5) phyſiologiſche Wirkungen,
6) Durchbohren ſchlechter Leiter,
7) Erwärmung

in derſelben Weiſe hervorbringt, wie den Entladungsſtrom.

Die Nadel eines Galvanometers, welches in den Verbindungsdraht der äußeren Belegungen eingeſchaltet iſt, wird nicht afficirt, wenn die inneren Belegungen ohne eingeſchalteten naſſen Faden durch einen weißen ſchallenden Funken in metalliſche Verbindung treten, hingegen ſehr deutlich, wenn in den Verbindungsdraht der inneren Belegungen ein naſſer Faden eingeſchaltet iſt. Das Magnetiſiren einer in einer Spirale enthaltenen Stahlnadel erfolgt im erſteren Falle (ohne Einſchaltung) kräftig, im zweiten Falle (mit Einſchaltung) ſehr ſchwach.

Den Inhalt eines von Dove verfaßten Aufſatzes in Poggendorff's Annalen (LIV. 305), welcher den Titel führt: »Ueber die durch Magnetiſiren des Eiſens vermittelſt Reibungselektricität inducirten Ströme,« kann erſt ſpäter berichtet werden, weil dieſer Gegenſtand in zu inniger Beziehung mit ſpäter zu beſprechenden Wirkungen des galvaniſchen Stromes ſteht.

Hankel's Unterſuchungen über die Magnetiſirung von Stahlnadeln durch den Entladungsfunken einer elektriſchen Batterie. 70 Hankel hat zwei große Abhandlungen über dieſen Gegenſtand publicirt (P. A. LXV. 537., LXIX. 321). In der erſten beſpricht er zunächſt die Beobachtungen Savary's, und geht dann zur Beſchreibung ſeiner eigenen Verſuche über, aus denen ſich folgende Reſultate ergeben.

1) Wenn der Entladungsſchlag durch eine Spirale geht, in welcher eine Stahlnadel liegt, ſo iſt ein beſtimmtes Minimum der Ladung nöthig, um überhaupt die Nadel zu magnetiſiren; nennen wir die Polarität, welche ſie durch den Entladungsſchlag dieſes Minimums annimmt, die normale, ſo wird bei allmälig verſtärkten Entladungsſchlägen die Nadel anomal magnetiſch, bei noch ſtärkerer Ladung wieder normal u. ſ. w. — Die anomale Magnetiſirung tritt nun erſt bei um ſo ſtärkeren Ladungen der Batterie auf, je längere Drahtſtücke man in den Schließungsbogen der Batterie einſchaltet.

Als außer der Spirale ſelbſt und den bei allen Verſuchen gleichbleibenden Stücken des Schließungsbogens 34′ Eiſendraht von 0,1 Linien Dicke eingeſchaltet war, ergab ſich die anomale Magnetiſirung bei einer Ladung 70 (gemeſſen durch Funken der Maßflaſche), bei einer Einſchaltung von 82 Fuß deſſelben Drahtes, bedurfte es dazu einer Ladung 120, bei einer Einſchaltung von 154′ einer Ladung 160.

2) Wenn bei gleichem Schließungsbogen einmal eine Batterie von mehr,

und dann eine von weniger Flaſchen angewendet wird, ſo bringt die Batterie von geringerer Flaſchenzahl die anomale Periode ſchon bei geringerer Ladung hervor.

Als 202 Fuß Eiſendraht in den Schließungsbogen eingeſchaltet waren, brachte ſchon eine Ladung 20 auf zwei Flaſchen eine anomale Magnetiſirung hervor, während man ſie bei Anwendung von 5 Flaſchen erſt bei einer Ladung 70 erhielt, und bei Anwendung von 9 Flaſchen ſelbſt die Elektricitätsmenge 230 noch keine anomale Magnetiſirung erzeugte.

Wenn man bei allmälig wachſenden Ladungen auch nicht immer die Abwechſelungen zwiſchen normaler und anomaler Magnetiſirung erhält, ſo fehlen deshalb dieſe Perioden nicht ganz, denn man beobachtet eine Zu- und Abnahme in der Stärke des normalen Magnetismus und die Minima der normalen Magnetiſirung entſprechen hier den anomalen Perioden.

Hankel wendet ſich nun zur Erklärung dieſer Erſcheinung, wobei er folgende Idee zu Grunde legt.

»Es iſt durch Faraday's Verſuche bekannt, daß ein Strom bei ſeiner »Entſtehung in einem nahe gelegenen Leiter einen Strom erregt, welcher »ihm entgegengeſetzt iſt, beim Verſchwinden dagegen einen zweiten, welcher »dem urſprünglichen gleichlaufend iſt. Beide Wirkungen muß auch der »elektriſche Funken auf eine in ſeiner Nähe befindliche Stahlnadel aus»üben. Da die Nadel ſenkrecht gegen ſeine Richtung liegt, ſo ſind die »Ebenen der in der Nadel erregten Ströme ebenfalls ſenkrecht auf die »Länge der Nadel, und die Magnetiſirung der Nadel wird gerade die ent»gegengeſetzte ſeyn, je nachdem wir ſie durch die Wirkung des Anfangens, »oder blos des Aufhörens des Funkens uns erzeugt denken. Nun folgen »aber die beiden Momente des Anfangs und des Endes beim elektriſchen »Funken ſo ſchnell auf einander, daß ihre Wirkungen geſondert nicht ge»meſſen werden können; es iſt alſo die Magnetiſirung das Reſultat dieſer »beiden Einflüſſe«.

Es iſt dies im weſentlichen die Grundidee, auf welche auch Wrede (Berzelius Jahresbericht, deutſch von Wöhler, 20ſter Jahrgang, S. 119.), die abwechſelnd normale und anomale Magnetiſiruug von Stahlnadeln durch den Entladungsſchlag, ſowohl im Haupt-, als auch in einem Nebendraht zurückzuführen verſucht hat.

Wie ſchon Rieß andeutet (Dove's Repertorium VI. 218) gehört dieſes Erklärungsprinzip vor der Hand doch nur noch in das Gebiet der Vermuthungen. Es iſt möglich, daß dies der naturgemäße Hergang der Magnetiſirung von Stahlnadeln durch den Entladungsſchlag ſey, aber keineswegs bewieſen.

Im ganzen klingt dies Erklärungsprinzip wohl ganz plauſibel, allein

die Ableitung der Einzelnheiten der Erſcheinung iſt keineswegs überzeugend, ſo weitläufig ſich auch Hankel darüber ausſpricht. Man wird dieſen Gegenſtand doch wohl noch als eine offen ſtehende Frage zu betrachten haben, und es wird deshalb wohl gerechtfertigt erſcheinen, wenn wir uns nicht länger dabei aufhalten.

Rieß ſpricht ſich an der angeführten Stelle von Dove's Repertorium dahin aus, daß es beſſer und für die Wiſſenſchaft förderlicher ſey, die Mangelhaftigkeit unſerer Kenntniſſe offen einzugeſtehen, als ſich mit halben Erklärungen zu behelfen und ihre Mängel zu bemänteln, und citirt hierbei eine Stelle aus Franklin's Briefen, welche jeden Naturforſcher wohl beherzigen ſollte; ſie heißt

»I find, a frank aknowledgment of one's ignorance is not only the easiest way to get rid of a difficulty, but the likeliest way to obtain information; I think it a honest policy«.

In der zweiten Abhandlung beſpricht Hankel folgende Punkte.

1) Die Anzahl und Größe der ſchon in der erſten Abhandlung erwähnten Magnetiſirungsperiode.

2) Die Einwirkung verſchiedener Spiralen.

3) Die Einwirkung des Schließungsdrahtes auf ſich ſelbſt.

4) Den Einfluß der Dicke der Nadeln.

5) Den Einfluß der Oberfläche der Batterie.

6) Die Aenderungen der Wechſel durch eingeſchaltete Widerſtände.

7) Einen beſonderen, von der Leitungsfähigkeit gänzlich verſchiedenen Einfluß einzelner Metalle.

Betrachten wir dieſe Punkte einzeln der Reihe nach.

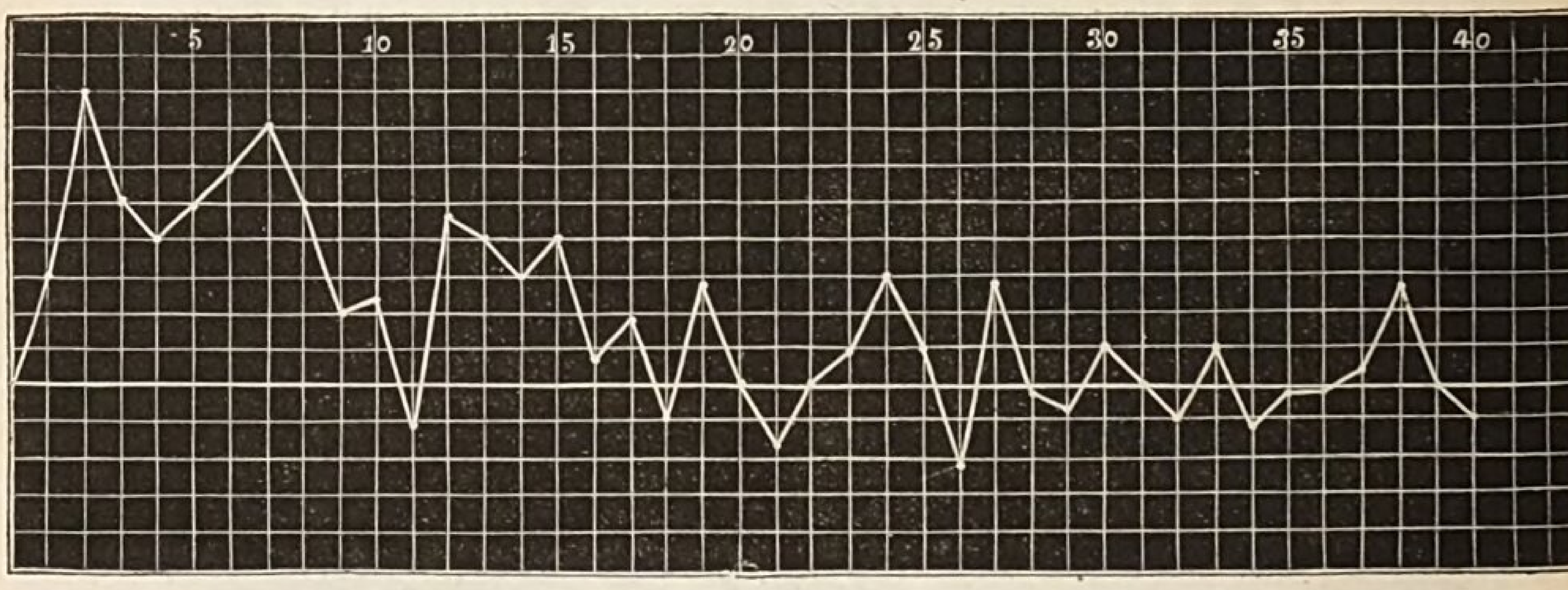
1) Als Magnetiſirungsſpirale wirkte eine Silberdrahtſpirale von ſo engen Windungen, daß die eingeſchobene Nadel 31 Windungen bedeckte. Die Ladung der Batterie wurde immer um 1 Funken der Maßflaſche vermehrt, und durch die Entladung derſelben immer eine neue Nadel magnetiſirt; die Stärke des ihr durch den Entladungsſchlag mitgetheilten Magnetismus wurde alsdann die Zeit ermittelt, welche die Nadel brauchte, um eine beſtimmte Anzahl Schwingungen zu machen. Außer der Spirale befand ſich noch 2,63 Meter eines 1,2966^{mm} dicken Kupferdrahtes in den Schließungsbogen.

Hankel machte auf dieſe Weiſe eine Verſuchsreihe, deren Reſultate in Fig. 69 (a. f. S.) graphiſch dargeſtellt ſind. Die Abſciſſen ſind der Stärke der Batterieladung, die Ordinaten der Stärke der entſprechenden Magnetiſirung proportional. Die Ordinaten über den Horizontalen 0 entſprechen normaler, die nach unten gerichteten Ordinaten anomaler Magnetiſirung

Dieſe Kurve macht nun keineswegs den Eindruck einiger Regelmäßigkeit,

vielmehr ſcheint ein etwaiges Geſetz ſehr durch Zufälligkeiten, deren man nicht Rechnung zu tragen im Stande iſt, maskirt zu ſeyn. In ſolchen

Fig. 69.



Fällen aber läßt ſich das Geſetz nur durch Mittelzahlen darſtellen, die aus zahlreichen Verſuchen abgeleitet ſind.

Hankel ſagt nun, er habe bei dieſer kürzeſten Drahteinſchaltung wiederholte Verſuche angeſtellt, um die Lage der anomalen oder der gleich bedeutenden ſchwach normalen Perioden zu beſtimmen und aus allen dieſen Verſuchen das Reſultat gewonnen, daß dieſelben für dieſelbe Nadelſorte, für die von ihm gebrauchte Batterie von 9 Flaſchen ſich bei den folgenden Ladungen finden.

3. 6. 9. 11. 14. 16. 18. 21. 23. 26.
29. 32. 36. 40.

Wenn nun Hankel ſagt, »man ſieht, daß dieſer Wechſel in der Polarität regelmäßig wiederkehre«, ſo muß ich geſtehen, daß ich in dieſer Zahlenreihe wenigſtens die Regelmäßigkeit eben noch nicht ſehr rein ausgeſprochen finde. Er ſagt zwar weiter: dieſe Regelmäßigkeit hätte ſich durch Einführung von Bruchwerthen noch ſchärfer darlegen laſſen, allein er habe dieſelbe abſichtlich vermieden, da er ſie nicht genau meſſen, ſondern nur hätte abſchätzen können.

Was ſoll das aber heißen; iſt denn die oben erwähnte Zahlenreihe nicht das Mittel aus mehreren unter denſelben Bedingungen angeſtellten Verſuchsreihen? Wenn aber dies der Fall iſt, warum Anſtand nehmen Bruchtheile einzuführen. Mittelwerthe ſind ja überhaupt nur berechnete, nicht beobachtete.

Um den Leſer es möglich zu machen, ſich ein Urtheil über den Werth der Reſultate zu bilden, hätte Hankel jedenfalls mittheilen ſollen, wie er zu der Zahlenreihe 3, 6, 9, 11 u. ſ. w. gekommen iſt, er hätte die einzelnen Verſuchsreihen mittheilen müſſen, damit man beurtheilen könne,

wie weit ſich die einzelnen Verſuchsreihen durch zufällige Störungen vom Mittel entfernen.

2. Die oben, Figur 69, graphiſch dargeſtellte Verſuchsreihe wurde nun mit zwei anderen verglichen, bei denen nur die Spirale in der Weiſe in die Länge gezogen war, daß die Länge der Nadel bei der zweiten nur 28, bei der dritten nur $11\frac{1}{2}$ Windungen bedeckte. Es ergab ſich im Allgemeinen, daß ſich die Perioden in dem Maaße verlängern, als die Nadel weniger Windungen bedeckt.

3. Wie wir oben geſehen haben, hat Rieß den Satz aufgeſtellt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den andern wirkt. — Hankel beſtreitet dieſen Satz. Er ſchließt das Gegentheil aus folgenden Verſuchen.

Eine Kupferſpirale von etwas großem Durchmeſſer war von einer ähnlichen Spirale umgeben, und man konnte die beiden Spiralen nach Belieben ſo verbinden, daß der Entladungsſchlag beide nach gleicher oder nach entgegengeſetzter Richtung durchlaufen mußte *). Außer dieſer Spirale war noch eine Magnetiſirungsſpirale in den Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet. Vergleicht man nun den Gang der Magnetiſirungsperiode für die beiden Verbindungsarten der Spiralen miteinander, ſo ſtimmen ſie nicht überein, und daraus ſchließt Hankel, daß allerdings eine Einwirkung der Wirkungen auf einander ſtattfände.

Wenn man auch zugiebt, daß die Rieß'ſchen Verſuche noch nicht genügen, den von ihm aufgeſtellten Satz zu begründen, ſo ſind doch die Hankel'ſchen noch weniger geeignet, ihn umzuſtoßen, denn das geſetzmäßige in den Magnetiſirungserſcheinungen durch den Entladungsſchlag, der Einfluß der Zufälligkeiten, iſt durchaus noch nicht genügend nachgewieſen, um aus der Nichtcoincidenz zweier ſolcher Verſuchsreihen einen ſichern Schluß ziehen zu können.

Die Verſchiedenheiten, welche ſich in der Magnetiſirung von Stahlnadeln ergeben, je nachdem ein langes Drahtſtück entweder geradlinig ausgeſpannt, oder ſpiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, wollen wir ſpäter unter Nro. 6 näher betrachten.

4. Im Allgemeinen ſcheinen, wie Hankel aus ſeinen Verſuchen ſchließt, bei dickeren Nadeln die Erſcheinungen nicht geändert zu werden, nur treten die anomalen Perioden erſt bei ſtärkeren Ladungen ein, und ſcheinen auch an Stärke verloren zu haben.

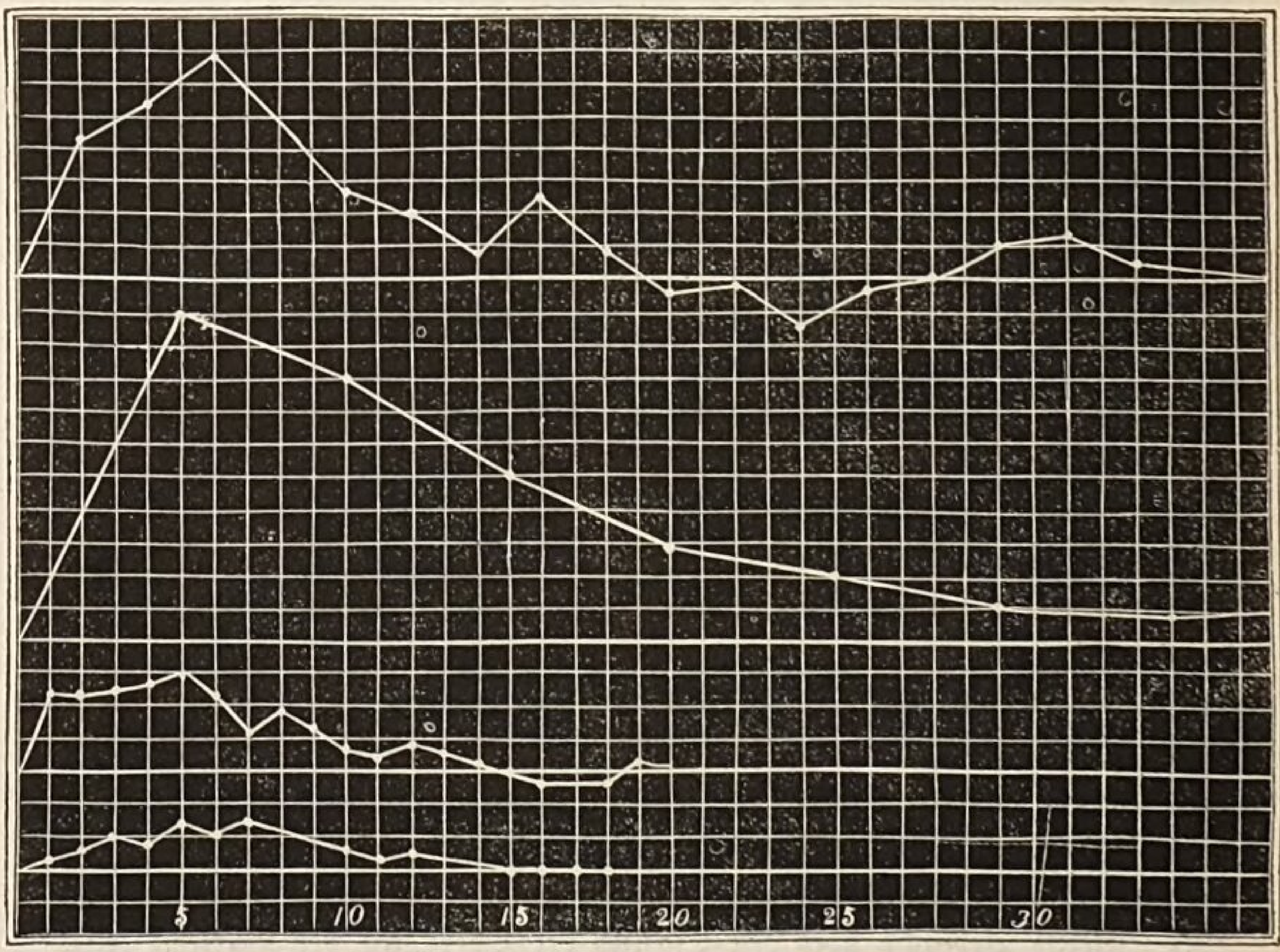
5. Neue Verſuche über den Einfluß der Oberfläche der Batterie erga-

*) Hankel giebt die Drahtdicke bis auf Hunderttauſentel Millimeter genau an; mir ſcheint dies für die übrigen Verhältniſſe dieſer Verſuchsreihen ziemlich unnöthige Genauigkeit.

ben, übereinſtimmend mit den früheren Verſuchen, daß eine Verkleinerung der Batterieoberfläche die anomalen Perioden auf immer kleinere Ladungen zurückführt, aber dieſelben zugleich ſo verkürzt, daß ſie bei einer gewiſſen Größe der Batterie aufhören als anomale Magnetiſirungen zu erſcheinen; man beobachtet alsdann nur noch ſtarke und ſchwache normale Perioden.

6. Außer der kürzeſten Einſchaltung, mit welcher die in Fig. 69 dargeſtellten Reſultate erhalten wurden, machte Hankel noch Verſuchsreihen nach Hinzufügung von geradlinig ausgeſpannten 0,23^{mm} dicken Kupferdrähten, deren Länge zwiſchen 0,375 und 96,4 Meter Länge geändert wurde. Die Kurven 1 und 2, Fig. 70, ſtellen die Reſultate dar, welche er für Einſchaltungen von 12 und von 96,4 Meter Länge erhielt. Dieſe Kurven ſcheinen anzudeuten, daß bei längeren Einſchaltungen die einzelnen kleineren Perioden mehr verſchmelzen, bis endlich nur eine große normale Periode mit ſtarker Magnetiſirung beobachtet wird, auf

Fig. 70.



welche eine ſehr breite negative Periode (von 30 bis 100) folgt, in der jedoch nur noch eine ſehr ſchwache Magnetiſirung beobachtet wird.

In Beziehung auf das Verſchwinden der kleineren Perioden erlauben aber, meiner Anſicht nach, dieſe Verſuche doch keinen ſichern Schluß, weil

die Ladung der Batterie bei den längeren Einſchaltungen immer von 5 zu 5, bei den mittleren von 2 zu 2 vermehrt wurde, während ſie bei der kürzeſten Einſchaltung nur immer um 1 wuchs. Wo liegt eine Garantie, daß bei den längeren Drahtwindungen nicht einzelne Perioden überſprungen wurden. Hankel übergeht dieſen Punkt mit Stillſchweigen.

Was den Einfluß der Windungen betrifft, vergleicht Hankel das Reſultat, welches Fig. 70 durch die zweite Kurve dargeſtellt iſt, mit denjenigen, welche 103 Meter deſſelben Drahtes zu 70 Spiralwindungen aufgewunden geben. Während beim geraden Drahte eine normale Periode bis 30 geht, und auf dieſe eine große ſchwache negative folgt, beobachtete er bei den aufgewundenen noch 3 normale und 3 anomale Perioden.

Als 26 Meter eines ſehr dicken (30,76 Quadratmillimeter Querſchnitt) viereckigen Kupferdrahtes eingeſchaltet wurden, zeigte ſich in der Lage der Perioden keine Veränderung, nur waren ſie im allgemeinen ſchwächer geworden. Als außerdem noch 113 Meter eines runden 1,3^{mm} dicken Drahtes geradlinig ausgeſpannt, eingeſchaltet wurden, ergaben ſich die Fig. 70 in der dritten Kurve dargeſtellten Reſultate. Es verſchwanden faſt alle Umkehrungen, die Nadeln zeigten ſich nur ſchwach magnetiſch.

Als 94 Meter des dicken Drahtes ſpiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeſchaltet wurden, ergaben ſich die in det 4ten Kurve der Fig. 70 dargeſtellten Reſultate. Die Schwächungen der Magnetiſirung zeigen ſich hier bei dem dicken ſpiralförmig aufgewundenen Drahte noch auffallender als bei dem dicken gerade ausgeſpannten.

Anſcheinend iſt der Einfluß der Windungen bei dem dicken und dünnen Kupferdraht ein ſehr verſchiedener; deſſen ungeachtet, ſagt Hankel (Seite 336 ſeiner 2ten Abhandlung), iſt aber der Einfluß in beiden Fällen derſelbe. Die Betrachtungen, durch welche er dies nachzuweiſen verſucht, ſind mir unverſtändlich; überhaupt kann ich Hankels Raiſonnements keineswegs klar und präcis nennen.

7. Auffallende Erſcheinungen zeigte die Einſchaltung von Eiſendrähten, welche anomale Perioden von ſehr bedeutender Stärke hervorbringen. Beſonders auffallend fand dies Hankel bei dicken langen Eiſendrähten. Während ein dicker Kupferdraht die Magnetiſirungen ausnehmend ſchwächt, ſo werden ſie durch einen dicken Eiſendraht bedeutend verſtärkt. Bei Einſchaltung eines 1,27^{mm} dicken, 131 Meter langen Eiſendrahtes ergab ſich z. B. für die Ladung 6 ein normales Maximum 11, für die Ladung 36 eine anomale Magnetiſirung von der Stärke $9\frac{1}{2}$, wenn man die Magnetiſirungsſtärke nach der Einheit mißt, welche bei der Conſtruction der oben mitgetheilten Kurven zu Grunde gelegt wurde.

Leidner Flaſchen von dickem Glaſe. Winter in Wien verfertigt Leidner Flaſchen, welche eine viel bedeutendere Schlagweite haben, als 71

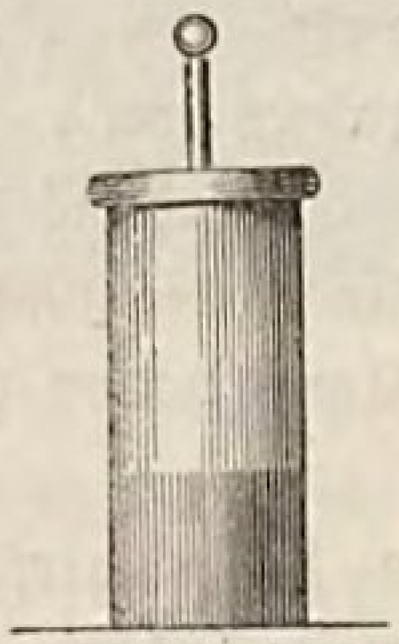
gewöhnlich, und er erreicht dies dadurch, daß er Gefäße mit ſehr dicken (über 1 Linie dicken) Glaswänden zur Conſtruction dieſer Flaſchen benutzt, und daß der unbelegte Rand ſehr groß iſt.

Durch die Größe des unbelegten Randes wird die Selbſtentladung, durch die Dicke des Glaſes die Durchbrechung deſſelben möglichſt verhindert; bei einer ſolchen Flaſche kann alſo die Spannung der freien Elektricität auf die innere Belegung eine weit ſtärkere Spannung erreichen, als bei gewöhnlichen dünnglaſigen Flaſchen, bei welchen, wenn nicht eine Selbſtentladung erfolgt, ein Durchſchlagen des Glaſes zu befürchten iſt.

Wegen der größeren Dicke des Glaſes iſt die gegenſeitige Bindung der entgegengeſetzten Elektricitäten beider Belegungen weniger vollſtändig, als bei dünnerem Glaſe; bei gleicher Größe der Belegungen und bei gleicher Dichtigkeit der freien Elektricität auf der inneren Belegung wird alſo in der dickglaſigen Flaſche weniger Elektricität angehäuft ſeyn, als auf der dünnglaſigen; im Allgemeinen iſt alſo die Menge der Elektricität, welche eine dickglaſige Flaſche aufnehmen kann, geringer, aber die Spannung der freien Elektricität auf der inneren Belegung und in Folge deſſen auch die Schlagweite größer.

Es läßt ſich erwarten, daß mit der größeren Schlagweite auch andere Wirkungen des Entladungsſchlages eine Veränderung erleiden werden. Alle Wirkungen des Entladungsſchlages, bei denen es vorzugsweiſe darauf ankommt, daß eine große Menge von Elektricität durch einen Körper hindurchgeführt wird, können beſſer mit größeren dünnglaſigen Flaſchen hervorgebracht werden, wo es aber gleichſam mehr auf die Stärke des Stoßes ankommt, da wendet man beſſer dickglaſige Flaſchen an; es ſchien mir demnach wahrſcheinlich, daß die Durchbohrung von Glasplatten mit dickglaſigen Flaſchen weit leichter gelingen müſſe, als mit gewöhnlichen dünnglaſigen. — Der Erfolg beſtätigte meine Erwartung vollkommen. Während mir früher mit dünnglaſigen großen Flaſchen dieſer Verſuch nicht immer mit Sicherheit gelang und ſtets eine ſehr große Anzahl von Umdrehungen der Maſchine nöthig waren, um die Batterie zum Durchſchlagen des Glaſes hinlänglich zu laden, gelingt er mir jetzt jedesmal mit einer dickglaſigen Flaſche, die mit 20 Umdrehungen einer ſehr mittelmäßigen Elektriſirmaſchine geladen iſt.

Fig. 71.



Die Glasdicke dieſer Flaſche, Fig. 71, beträgt ungefähr 1 Linie; jede Belegung hat ungefähr 9 Quadratdecimeter Oberfläche und der unbelegte Rand hat eine Höhe von 22 Centimeter.

Ich habe den Einfluß der Glasdicke auf die Wirkungen des Entladungsſchlages nicht näher ſtudirt, und theile dieſe Notizen nur mit, um die Aufmerkſamkeit

anderer Phyſiker auf dieſen Punkt zu richten. Es wäre ſehr zu wünſchen, daß Rieß dieſen Gegenſtand aufgriffe, da er bereits auf dieſem Felde mit ſo allgemein anerkanntem Erfolge gearbeitet hat.

Elektriſche Zeichnungen. Durch Elektricität kann man auf der 72
Oberfläche verſchiedener Körper Figuren hervorbringen, welche entweder ſchon direct ſichtbar ſind, oder welche durch Beſtäuben oder Anhauchen erſt ſichtbar werden. Ueber dieſe Erſcheinungen, von denen die Lichtenbergiſchen Figuren die bekannteſten ſind, hat Rieß eine ausgedehnte Verſuchsreihe angeſtellt (P. A. 69. 1) und die Umſtände ſehr genau ermittelt, unter welchen dieſe Figuren und Bilder entſtehen.

Rieß theilt ſie ein in primär elektriſche Zeichnungen, welche dadurch entſtehen, daß verſchiedene Stellen der Oberfläche ſchlecht leitender Subſtanzen in ungleich elektriſchen Zuſtand verſetzt werden, welche dann durch Beſtäubung ſichtbar gemacht wird, und

Secundär elektriſche Zeichnungen, welche erzeugt werden, wenn durch elektriſche Entladung diejenige fremde Schicht, die in der Regel alle Körper überzieht, verändert wird; in dieſem Falle erſcheinen die Zeichnungen durch Behauchung der Platte, oder es entſtehen unmittelbar ſichtbare Zeichnungen, wenn die Oberfläche der Körper ſelbſt irgendwie angegriffen wird.

Betrachten wir zuerſt die durch Bepulverung ſichtbar werdenden elektriſchen Zeichnungen.

Staubfiguren. Um die Lichtenbergiſchen Figuren zu erzeugen, 73
wandte Rieß quadratiſche Kupferbleche an, die entweder nur auf der einen oder auch auf beiden Seiten etwa $1/2$ Linie dick mit ſchwarzem Pech überzogen waren.

Die Bildung der Staubfiguren (Lichtenbergiſche Figuren) iſt eine Folge der elektroſcopiſchen Wirkung der elektriſchen Stellen der Harzflächen auf das durch das Beuteln gleichfalls elektriſche Pulver. Am zweckmäßigſten wendet man ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennige an. Poſitiv elektriſche Stellen der Platte bedecken ſich mit Schwefelblumen, ſie erſcheinen alſo gelb; die Mennige ſammelt ſich dagegen auf den negativ elektriſchen Stellen der Platte, welche alſo roth erſcheinen.

Wenn der Funken auf die Pechfläche übergegangen iſt, ſo daß eine Staubfigur erſchienen wäre, wenn man ſie ſogleich beſtäubt hätte, bildete ſich keine Figur, wenn die Pechfläche erſt eine Secunde lang über eine Weingeiſtflamme hinführte, wodurch die Elektricität von der Pechfläche weggenommen wird.

Die einfachſte Art, die Staubfiguren darzuſtellen, wie ſie auch Rieß anwandte, iſt folgende: Eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferplatte wird durch einen Draht ableitend berührt und auf die Pech-

fläche einer iſolirten Metallſpitze aufgeſetzt. Berührt man das obere Ende derſelben mit dem Knopf einer poſitiv geladenen Flaſche, entfernt man alsdann iſolirt die Spitze, ſo erſcheint beim Bepulvern mit der genannten Miſchung eine gelbe runde Sonne mit dichten Strahlen.

Wird der Verſuch in derſelben Weiſe mit einer negativ geladenen Flaſche angeſtellt, ſo entſteht eine kreisrunde volle rothe Scheibe.

Dieſe Verſchiedenheit im Anſehn der Figuren iſt bekannt. Rieß hat aber noch auf einen andern merkwürdigen Unterſchied aufmerkſam gemacht, darauf nämlich, daß die poſitive Figur weit größer iſt, als die negative, wenn gleich ſtarke Ladungen angewandt werden.

Bei einer beſtimmten poſitiven Ladung der Flaſche ergab ſich (als Mittel aus drei Verſuchen) 16,1 Millimeter als Durchmeſſer der gelben Sonne.

Bei gleich ſtarker negativer Ladung ergab ſich (ebenfalls als Mittel aus drei Verſuchen) 5,8 als Durchmeſſer der rothen Scheibe.

Die Durchmeſſer der negativen und poſitiven Figuren, wenn ſie durch gleich ſtarke Ladung der Flaſche erzeugt werden, verhalten ſich demnach wie 1 zu 2,77 oder die von ihnen eingenommenen Flächenräume wie 1 zu 7,67.

Bringt man zwiſchen die iſolirte Spitze und den ableitenden Draht eine auf beiden Seiten mit Pech überzogene Platte, bei Wiederholung des oben angegebenen Verfahrens, ſo entſteht auf der einen Seite die poſitive, auf der andern die negative Figur.

Als die Flaſche mit negativer Elektricität geladen war, entſtand natürlich oben die Scheibe, unten die Sonne, die gelbe Sonne war aber jetzt nur noch 2,2 mal ſo groß, als die rothe Scheibe.

Der Grund davon, daß hier die negative Figur verhältnißmäßig größer ausfiel, als bei dem vorigen Verſuch, liegt in dem Ueberſchuß negativer Elektricität, welche auf die obere Fläche übergegangen war; in der That entſteht auf der oberen Seite eine Sonne, welche 3,3 mal ſo groß war, als die rothe Scheibe auf der untern Seite, wenn man zu demſelben Verſuch eine poſitiv geladene Flaſche anwendet.

Rieß hat gezeigt, daß die Staubfiguren nur dann entſtehen, wenn der Uebergang der Elektricität auf die iſolirende Platte von einer discontinuirlichen Entladung begleitet iſt, die ſich meiſtens ſchon durch ein eigenthümliches Ziſchen zu erkennen giebt. Hält man die Pechplatte an den Knopf einer geladenen Flaſche, ſo geht ein Funken mit kniſterndem Geräuſch über, es findet alſo eine discontinuirliche Entladung Statt, beim Beſtäuben entſteht eine Staubfigur; wird aber die Platte in eine ſolche Entfernung von dem Knopf der Flaſche gebracht, daß kein Funken übergehen kann, ſo geht doch allmälig etwas Elektricität über, indem eine continuirliche

Entladung ſtattfindet. Beſtäubt man die Platte, nachdem ſie 30 bis 70 Minuten dem Knopf der Flaſche gegenüber geſtanden hat, ſo zeigen ſich eine Menge rundlicher Flecken, welche unregelmäßig vertheilt ſind, gelb, wenn die Flaſche poſitiv, roth, wenn ſie negativ geladen war. Dieſe Flecken zeigen keine Spur von ſtrahliger Ausbreitung, ſie ſind an Größe und Geſtalt für beide Elektricitäten völlig gleich.

Elektriſche Staubfiguren entſtehen alſo nur dann, wenn Elektricität durch eine discontinuirliche Entladung auf eine iſolirende Platte gekommen iſt.

Auf dieſe Thatſache gründet Rieß eine ſehr ſinnreiche Erklärung der Verſchiedenheit der poſitiven und der negativen Staubfiguren. Bei der discontinuirlichen Entladung, welche über die Oberfläche eines Iſolators hingeht, wird die condenſirte Atmoſphäre, welche die Oberfläche aller Körper bedeckt, gewaltſam durchbrochen, und ein Theil dieſer auch Waſſerdämpfe enthaltenen Schicht gewaltſam gegen die Oberfläche des Körpers ſelbſt geworfen.

Nun aber hat Faraday gezeigt, daß, wenn feuchte Luft gewaltſam gegen irgend einen Körper ſtrömt, dieſer negativ elektriſch wird, und ſo wird denn nun hier auch die Oberfläche der Platte negativ elektriſch in Folge der Entladung, welche über die Fläche hin ſtattfindet; die von dieſer Entladung noch übrig bleibende Elektricität hat ſich alſo nur auf einer negativ elektriſchen iſolirenden Fläche zu verbreiten.

Iſt die Flaſche mit negativer Elektricität geladen, ſo verbreitet ſich dieſe alſo von der Spitze aus über eine iſolirende ſchon negative Fläche; die Umſtände ſind alſo der Ausbreitung der negativen Elektricität nicht günſtig, die Figur wird nicht groß werden können und eine abgerundete Geſtalt annehmen.

Iſt die Flaſche poſitiv geladen, ſo verbreitet ſich der Reſt der poſitiven Ladung von der Spitze aus auf einer durch die discontinuirliche Entladung negativ elektriſchen iſolirenden Schicht; der Umſtand, daß jetzt alſo auf der Fläche ſchon Elektricität vorhanden iſt, welche auf die von der Spitze noch ferner ausgehende anziehend wirkt, veranlaßt eine größere Ausbreitung der poſitiven Elektricität, der Umſtand aber, daß die nachſtrömende poſitive Elektricität theilweiſe von der vorhandenen negativen neutraliſirt wird, verurſacht die ſtrahlenförmige Geſtalt der poſitiven Staubfigur.

Als Stütze für dieſe Anſicht führt Rieß noch die Modification der Erſcheinung in verdünnter Luft an. Auf eine Pechplatte, die ſich in einer Glasbüchſe befand, wurde das ſtumpfe Ende eines Drahtes geſtellt, der von einer mit poſitiver Elektricität geladenen Flaſche einen Funken erhielt. Bei vollem Luftdruck entſtand durch Beſtäubung der Platte die Sonne, als aber die Luft bis auf 27½ Linien Barometerhöhe verdünnt war, ent=

ſtand nur noch ein unregelmäßiger gelber Fleck. Ebenſo verhielt ſich die negative Elektricität. Der Unterſchied der poſitiven und negativen Figuren wurde bei dieſer Verdünnung nicht mehr beobachtet.

Als die Luft auf 2—3 Linien ausgepumpt war, hinterließ die Drahtſpitze nur noch einen Punkt, der bei poſitiver Elektricität roth, bei negativer Elektricität gelb, alſo nicht durch Uebergang der Elektricität auf die Platte, ſondern durch Vertheilung entſtanden war.

Das Durchbrechen der Luftſchicht, welche die Platte umgiebt, iſt alſo zur Erzeugung der Staubfiguren weſentlich.

74 **Staubbilder.** Wenn man einen Stempel (am beſten einen möglichſt einfachen, etwa einen einzigen erhabenen Buchſtaben; man könnte dazu eine Buchdruckertype anwenden) auf eine einfache Pechplatte (ſo nennt Rieß eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferſcheibe) ſetzt, und dann dem Stempel Elektricität mittheilt, ſo wirkt er da, wo ſeine Fläche die Pechfläche berührt, vertheilend, die Pechfläche wird an der berührten Stelle elektriſch, und zwar entgegengeſetzt zu der Elektricität des Stempels, denn wenn man nach Abheben des Stempels die Platte mit der erwähnten Pulvermiſchung beſtäubt, ſo erhält man ein rothes Bild des Buchſtabens, wenn der Stempel poſitiv, ein gelbes, wenn er negativ war; das Schwefelpulver ſetzt ſich aber auf die poſitiven, Mennigpulver auf die negativen Stellen der Harzplatte.

Die oben beſchriebene Erſcheinung erleidet je nach der Art, wie der Stempel elektriſch gemacht wird, mancherlei Modificationen.

Berührt man den Stempel mit dem Knopf einer geladenen Leidner Flaſche, und hebt man dann den Stempel iſolirt ab, ſo entſteht das Bild des Stempels in der angegebenen Weiſe, es iſt aber ſchwach beſtäubt, während der Grund, durch Staubfiguren gebildet, gelb iſt, wenn der Buchſtaben roth erſcheint, roth aber, wenn der Buchſtaben gelb iſt.

Wird der Stempel nicht iſolirt abgehoben, ſo wird die Staubfigur verändert, wodurch auch die Reinheit des Bildes leidet.

Durch zu ſtarke Elektriſirung läßt ſich auch an der Stelle, wo der Stempel die Platte berührt, der Uebergang der Elektricität auf der Platte wenigſtens theilweiſe erzwingen, ſo daß ein theils rothes, theils gelbes Staubbild entſteht.

Hier haben wir alſo gleichzeitig ein Staubbild und Staubfiguren. Um das Staubbild rein zu erhalten, muß man die Bildung der Staubfiguren vermeiden, was Rieß durch mehrere Methoden erreichte.

Der Knopf der Leidner Flaſche wurde mit einer vierzölligen Kugel vertauſcht, die Flaſche ſelbſt horizontal gelegt und befeſtigt, ſo daß man unter die Kugel die Pechplatte und den Stempel ſtellen konnte; der Stiel des Stempels war $1/2$ Zoll von der Kugel entfernt. Durch die vertheilende

Kugel wurde das Ende des Stempels, welches das Pech berührte, mit der Kugel gleichnamig elektriſch, eine zu ſtarke Anhäufung der Elektricität wurde dadurch verhindert, daß der Stempel mit einer Spitze verſehen war. Nachdem der Stempel etwa 20 bis 30 Minuten der vertheilenden Wirkung der Kugel ausgeſetzt geweſen war, entſtand ein reines Staubbild ohne Staubfigur, dagegen fanden ſich unregelmäßige Flecke auf dem Grunde, welche nicht von der Farbe des Bildes waren.

Aehnliche Reſultate wurden erhalten, als der Stempel mit dem einen Pol einer kräftigen trockenen Säule mehrere Stunden lang in Verbindung blieb, während die Elektricität des anderen Pols möglichſt vollſtändig abgeleitet wurde.

In dieſen Fällen, wo überhaupt keine Staubfigur entſtand, war es gleichgültig, ob man den Stempel iſolirt oder nicht iſolirt abhob.

Die Farbe der unregelmäßigen Flecken zeigt, daß ſie von Elektricität herrühren, die von dem Stempel auf die Pechplatte an Stellen übergegangen iſt, die ihr ein leichtes Einſtrömen erlaubten. Um ſie zu vermeiden, hat man nur dieſer Elektricität einen noch leichteren Uebergang zu einer leitenden Umgebung zu bereiten, wie es geſchieht, wenn man die Staubbilder in verdünnter Luft erzeugt. *Rieß* hat auf dieſe Art die vollkommenſten Staubbilder erhalten.

Die bisher betrachteten *Staubfiguren* und *Staubbilder* ſind nach der Bezeichnung von *Rieß* *primär elektriſche Zeichnungen*, die im Folgenden zu betrachtenden Figuren und Bilder ſind *ſecundär elektriſche Zeichnungen*.

Elektriſche Hauchfiguren. Die Oberfläche von Glas, Glimmer u. ſ. w., 75
über welche ein elektriſcher Entladungsfunken gegangen iſt, zeigt beim Behauchen eigenthümliche veräſtelte Figuren, die ſpiegelhell auf dem vom Hauche getrübten Grunde ſtehen.

Die Hauchfigur bezeichnet den Weg, welchen die elektriſche Entladung auf der Fläche genommen hat und ihre Form iſt daher nach der Natur der Subſtanz dieſer Fläche verſchieden. Auf Metall erſcheint ſie als runde Scheibe, auf Harz als geſchlängelte Streifen, auf Glimmer als feine, vielfach veräſtelte Linie.

Von der Art der angewandten Elektricität iſt die Hauchfigur *unabhängig*.

Daß die Hauchfiguren nicht von Elektricität herrühren, welche noch auf der Fläche haftet, geht daraus hervor, daß ſie ſich auch auf Metallflächen darſtellen laſſen, auf welchen ſie beim Behauchen als helle Kreisfläche umgeben von mehr oder minder getrübten Ringen erſcheinen; auch zeigt ſich die Hauchfigur noch längere Zeit, nachdem der Entladungsſchlag über die Fläche gegangen iſt, oder wenn man die Fläche von einer Weingeiſtflamme

hat beſtreichen laſſen; von anhaftender Electricität können die Hauchfiguren alſo nicht herrühren, ſie ſind einer Oberflächenänderung zuzuſchreiben, welche die angewandte Subſtanz durch die elektriſche Entladung erfahren hat.

Auf friſchen Glimmerflächen, d. h. auf ſolchen, welche durch eine friſche Spaltung erhalten werden, kommen keine Hauchfiguren zu Stande. Es hängt dies von einer eigenthümlichen Eigenſchaft der friſchen Glimmerflächen ab, welche Rieß im 67ſten Bande von Poggendorff's Annalen Seite 354 beſchrieben hat.

Wird ein reines Glimmerblatt angehaucht, oder über dampfendes Waſſer gehalten, ſo beſchlägt es, wie alle Körper, es wird mit einer bald wieder verſchwindenden Waſſerſchicht überzogen, die aus ſehr kleinen, in einigem Abſtande von einander befindlichen Waſſertropfen beſteht.

Wenn man aber dem Glimmer durch Spaltung eine friſche Oberfläche giebt, ſo bleibt ſie beim Behauchen vollkommen klar, ſpiegelnd und durchſichtig.

Dieſe Erſcheinung rührt keineswegs daher, daß die friſche Fläche keinen Waſſerdampf condenſirt; hat man ihr einige Ausdehnung gegeben, ſo bemerkt man leicht, daß ſie durch den Hauch mit den Farben der dünnen Blättchen anläuft, alſo mit einer zuſammenhängenden Waſſerſchicht bedeckt iſt.

Ein Waſſertropfen, der auf einer alten Glimmerfläche ſtehen bleibt, zerfließt auf einer friſchen ſogleich und benetzt dieſelbe vollſtändig.

Eine durch Spaltung eben entſtandene Glimmerfläche beſitzt alſo in Folge ihrer großen Reinheit eine ſo große Anziehung zum Waſſergaſe, daß ſie daſſelbe zu einer cohärenten Schicht verdichtet, während ſie längere Zeit der Luft ausgeſetzt, daſſelbe nur in geſonderten Tropfen zu condenſiren vermag.

Während eine alte Glimmerfläche ein ſehr guter Iſolator der Electricität iſt, wird ein Elektroſcop durch eine friſche Glimmerfläche in wenigen Sekunden entladen, die friſche Glimmerfläche wirkt nämlich hygroſcopiſch, ſie verdichtet den atmoſphäriſchen Waſſerdampf zu einer cohärenten Waſſerſchicht, welche die Elektricität leitet.

Dieſe merkwürdige Eigenſchaft friſcher Glimmerflächen erhält ſich an der Luft nur kurze Zeit, nach einigen Tagen wird ſie ſchon durch Behauchen getrübt.

Sehr heftige elektriſche Entladungen bringen nicht allein eine Veränderung der die Körper bedeckenden fremden Schicht hervor, ſondern ſie verändern die Oberfläche der Körper ſelbſt. Hierher gehören die ſchon oben S. 111 betrachteten Spuren, welche die Entladungsfunken auf Glas und Glimmer zurückläßt (elektriſche Farbenſtreifen) und die Prießley'ſchen

Ringe, welche entſtehen, wenn mehrere Entladungen einer Batterie zwiſchen einer Spitze und einer polirten Metallfläche Statt finden, wobei ſich durch Oxydation des Metalls mehrere gefärbte concentriſche Kreiſe bilden.

Karſten's elektriſche Abbildungen. Die Analogie elektriſcher 76
Hauchfiguren, welche Rieß im VI. Bande von Dove's Repertorium der Phyſik beſchrieben hatte, mit den Moſer'ſchen Bildern, veranlaßte Karſten zu verſuchen, ob ſich nicht auch ſolche Bilder auf elektriſchem Wege darſtellen ließen.

Zu dem Ende legte er (P. A. LVII. 492) eine Münze auf Spiegelglas, das auf einer abgeleiteten Metallplatte ruhte und ließ aus dem Conductor der Maſchine Funken auf die Münze ſchlagen, die zugleich von dieſer nach der Metallplatte (alſo um den Glasrand herum) überſchlugen. Nach 100 Umdrehungen der Maſchine wurde die Münze entfernt; die Glastafel erſchien durchaus unverändert, beim Behauchen aber kam das vollſtändige Bild der Münze zum Vorſchein.

Ueber elektriſche Abbildungen hat Karſten außer dem erwähnten noch zwei andere Aufſätze in Poggendorff's Annalen publicirt (LVIII. 115 und LX. 1), da es ihm jedoch nicht gelungen iſt, die wahre Natur der elektriſchen Bilder zu ermitteln, ſo iſt es wohl unnöthig, weiter in's Detail dieſer Abhandlungen einzugehen, um ſo mehr, da, wie wir ſogleich ſehen werden, Rieß die zur Entſtehung elektriſcher Bilder erforderlichen Bedingungen richtig erkannt hat, der Bericht über die Rieß'ſche Unterſuchung alſo hinreicht, um wenigſtens das Thatſächliche zur Kenntniß des Leſers zu bringen.

Nur nach einer Seite hin müſſen wir Karſten's letzten Aufſatz noch etwas betrachten. Im Eingange führt er mehrere Verſuche an, die man gemacht hat, um die Entſtehung der Moſer'ſchen Bilder zu erklären; er führt hier außer Moſer's eigner Theorie noch die Anſichten von Hunt, Knorr, Figrau, Daguerre, Maſſon und Moore an. Warum wird hier Waideles treffliche Arbeit über dieſen Gegenſtand ignorirt, die doch ſchon in der erſten Hälfte des 59ſten Bandes von Poggendorff's Annalen ſteht, und welche uns, nachdem dieſe Bilder Veranlaſſung zu vielfachen theoretiſchen Schwindeleien geworden waren, zuerſt wieder auf den Boden einer rationellen Behandlung des Gegenſtandes zurückführt. Sollte Karſten dieſe Arbeit bei Abfaſſung des Aufſatzes im 60ſten Bande der Annalen noch nicht gekannt haben?

Die Erklärung, die Karſten von den Moſer'ſchen Bildern giebt, iſt durchaus unzuläſſig und leicht zu widerlegen. Er meint, weil man mit Hülfe von Elektricität ähnliche Bilder erzeugen kann, ſo müßten auch die Moſer'ſchen Bilder elektriſchen Urſprungs ſeyn. — Er meint: »Wenn zwei Körper, die irgendwie von einander verſchieden ſind mit ein-

ander in Berührung kommen, ſo entſteht ein elektriſcher Strom!?« und dieſer ſoll die Urſache der Moſer'ſchen Bilder ſeyn.

Die Entſtehung eines elektriſchen Stromes bei Berührung zweier heterogener Körper, wie es ſich hier Karſten vorzuſtellen ſcheint, wird ſelbſt der eifrigſte Anhänger der Contacttheorie nicht zugeben, aber ſelbſt die Exiſtenz eines ſolchen Stromes zugegeben, würde dieſer kein Bild erzeugen können, wie die Rieß'ſchen Unterſuchungen beweiſen.

Daß eine elektriſche Spannung allein ohne wiederholte Entladung zwiſchen dem abzubildenden Körper und der Platte zur Erzeugung elektriſcher Bilder nicht hinreicht, hat ſchon Knorr in einem Aufſatz: »über elektriſche Abbildungen und Thermographien (P.A. LXI.569)« gezeigt, und die Unhaltbarkeit der Karſten'ſchen Anſicht, als ſeyen die Moſer'ſchen Bilder elektriſchen Urſprungs, nachgewieſen.

Der übrige Inhalt der Knorr'ſchen Aufſätze wird als nicht hierher gehörig erſt bei einer andern Gelegenheit beſprochen werden.

77 **Elektriſche Hauchbilder.** Rieß ſetzte einen Metallſtempel auf eine ſpiegelnde Pechfläche, auf dieſen ein kleines Metallgewicht, welches durch einen Metallfaden (Silberfaden) mit derjenigen Kugel des Funkenmikrometers verbunden war, welche direct vom Conductor der Maſchine die Elektricität empfing, während die andere Kugel des Funkenmikrometers $1/2$ Linie von der erſteren entfernt, mit dem Boden in leitender Verbindung ſtand.

Wird nun die Maſchine gedreht, ſo häuft ſich auf der erſten Kugel des Funkenmikrometers und dem Stempel Elektricität an, bis eine Entladung durch Ueberſchlagen eines Funkens zwiſchen den beiden Kugeln entſteht; bei fortgeſetztem Drehen wird der Stempel von neuem geladen und entladen u. ſ. w. Die Entladungen folgen um ſo raſcher, je näher die Kugeln des Funkenmikrometers einander ſtehen.

Nach einigen Umdrehungen der Scheibe wurde der Stempel abgehoben, und die Platte behaucht und zeigte nun ein ſpiegelndes Bild des Stempels auf trübem Grunde.

Es iſt für dieſen Verſuch gleichgültig, welche Elektricität die Elektriſirmaſchine liefert.

Auf Glas und Glimmer laſſen ſich ſolche Bilder ebenfalls erzeugen, jedoch erſcheinen hier öfters mißlungene Bilder.

Das einfache Hauchbild, ſagt Rieß, entſteht durch wiederholte elektriſche Entladungen, die zwiſchen dem Modelle und der iſolirenden Platte in entgegengeſetzter Richtung ſtattfinden. Die Elektricität, welche den Modellen mitgetheilt wird, geht auf die Platte über, und ſpäter an das Modell zurück, wenn dieſes durch das Funkenmikrometer entladen wird; es entſteht alſo eine Bewegung derſelben Elektricitätsart von Oben nach

Unten, und dann wieder von Unten nach Oben. — Da die Entladungen zwiſchen einem ſchlechten und einem guten Leiter nie vollſtändig ſind, ſo bleibt Elektricität der angewandten und der entgegengeſetzten Art auf die ſo iſolirende Platte zurück, welche daſelbſt Staubfiguren, oft auch Staubbilder zu erzeugen im Stande ſind.

Durch einfache Elektriſirung des Stempels, wie ſie zur Hervorbringung der Staubbilder angewandt wird, entſteht kein Hauchbild; die abwechſelnde Ladung und Entladung des Stempels iſt zur Bildung des Hauchbildes durchaus nöthig.

Legt man auf eine Pechplatte ein Glimmerblatt, und ſetzt man auf dieſes einen Metallſtempel, ſo wird bei der Elektriſirung des Stempels eine zweifache Entladung derſelben Elektricitätsart nach derſelben Richtung ſtattfinden, nämlich vom Stempel zur oberen Glimmerfläche und von der unteren Glimmerfläche zur Pechplatte. Als der Stempel von einer poſitiv geladenen Flaſche ein Funken mitgetheilt worden war, zeigte die Pechfläche beſtäubt das gelbe Bild des Stempels von poſitiven Staubfiguren umgeben; wenn man alſo bei dieſer Anordnung der Stempel abwechſelnde Ladung und Entladung erfährt, ſo ſind die Bedingungen zu Bildung mehrfacher Hauchbilder gegeben.

Eine Pechfläche wurde mit einem Glimmerblatte bedeckt und ein Stempel darauf geſtellt, der durch das Funkenmikrometer geladen und entladen wurde. Nach 20 Umdrehungen zeigte die obere Glimmerfläche ein vollkommenes, die untere Glimmerfläche und die Pechfläche aber ein meiſt unvollkommenes Hauchbild.

Dieſe Bilder bleiben ſo oft unvollkommen, weil Pech und Glimmer durch die nach jeder Entladung zurückbleibende Elektricität ſtark zuſammenhaften und folgende Entladungen dann an Stellen herbeigeführt werden, die zufällig zerſtreut außerhalb der Bildfläche liegen, wird aber für die Pechplatte eine Metallplatte ſubſtituirt, ſo erhält man ein vollkommenes Hauchbild auf der oberen und unteren Glimmerfläche und auf der Metallfläche.

Das Sichtbarwerden der Hauchbilder iſt nach Rieß dadurch zu erklären, daß die Oberflächen durch die elektriſchen Entladungen von der fremden Schicht befreit werden, mit welcher ſie in der Regel überzogen ſind, und er hat eine ſolche Reinigung bei Bildern auf Metall auch nachgewieſen. Auf einer vollkommen iſolirenden Glimmerfläche erzeugte Rieß ein Hauchbild und nun zeigte ſich die Stelle, an welcher das Bild erſchien, leitend wie eine friſche Glimmerfläche; die Glimmerfläche war alſo in der That von der ſie bedeckenden Schicht an dieſer Stelle gereinigt worden.

In den meiſten Fällen werden die Hauchbilder allerdings durch eine

ſolche Reinigung erzeugt, das Hauchbild kann aber auch durch Verunreinigung der Platte entſtehen.

Auf einer friſchen Glimmerfläche erhält man ein getrübtes Bild des Stempels auf ſpiegelndem Grunde. Auf einer alten Glimmerfläche, welche durch 40 Umdrehungen elektriſirt, ein helles Hauchbild (Grund behaucht) gab, wurde durch 100 Umdrehungen ein Bild erzeugt, welches vollkommen getrübt hervortrat.

Die in der Trübung verſchiedene Art des Hauchbildes hängt vom Zuſtande der angewandten Platte und des Stempels, und von der Stärke der Elektriſirung ab, und die helleren Bilder kommen nur deßhalb öfter vor, weil man ſich unreiner Platten, und einer möglichſt geringen Elektricität zu bedienen gewohnt iſt.

Die Entſtehung der Hauchbilder iſt, wie die der Hauchfiguren einer Veränderung zuzuſchreiben, welche die elektriſche Entladung in der Schicht hervorbringt, welche die Platten deckt, und je nach Umſtänden in einer Verdünnung oder Verdichtung dieſer Schicht beſteht.

Ein Funken, aus einer reinen Metallfläche gezogen, verletzt dieſelbe, läßt ſie aber unverändert, wenn ſie unrein oder gar gefirnißt iſt. Ein ähnlicher Fall tritt auch bei den Hauchbildern auf Metall ein. Geht nur eine geringe Anzahl von Entladungen zwiſchen der Metallfläche und dem ſie deckenden Glimmer über, ſo beginnt die intermittirende Entladung in der fremden Schicht auf der Oberfläche des Metalls, und das Metall bleibt unverletzt; iſt hingegen dieſe fremde Schicht zerſtört und dadurch eben das Hauchbild entſtanden, und man läßt die Entladungen fortdauern, ſo beginnen dieſe im Metalle ſelbſt und verändern daſſelbe. Rieß hat ſolche Bilder, die ſich ohne Behauchung zeigten und einzelne Theile des Stempels in bräunlicher Farbe wiedergaben, auf Silber zuweilen ſchon durch 50 bis 60 Umdrehungen dargeſtellt.

78 **Elektrolitiſche Bilder.** Wird die ſtumpfe Spitze einer Platinnadel auf ein mit Jodkaliumlöſung befeuchtetes Papier geſtellt, das auf einer zur Erde abgeleiteten Metallplatte liegt, ſo entſteht unter der Spitze ein brauner Fleck, wenn man die Nadel poſitiv, aber kein Fleck, wenn man die Nadel negativ elektriſirt. Wendet man poſitive und negative Elektricität in beliebiger Ordnung nach einander an, ſo bleibt dennoch die Färbung, ſelbſt wenn die Menge der negativen Elektricität die der poſitiven bei weitem übertrifft.

Dies Factum erklärt die elektrolitiſchen Bilder, welche Rieß erfunden hat, um die Richtigkeit der eben angeführten Anſicht, über die Bildung der Hauchbilder durch hin- und hergehende Entladung, zu beweiſen.

Ein Stück (Muſter-) Karten-Papier wurde auf einer Fläche mit einer Löſung von Jodkalium in Waſſer befeuchtet auf eine zur Erde abgeleitete

Metallplatte gelegt und mit einem Glimmerblatte bedeckt. Ein Stempel wurde auf den Glimmer geſtellt, durch ein Gewicht von 2 — 14 Unzen angedrückt und mit dem Funkenmikrometer verbunden, deſſen Kugeln ½ Linie von einander entfernt waren. Nach 20 Umdrehungen der Scheibe, deren poſitive Elektricität fortwährend mit Funken zwiſchen den Kugeln überging, war ein ſehr ſcharfes Bild auf dem Papier entſtanden, in welchem die Buchſtaben des Stempels braun erſchienen.

Die Erklärung dieſer Erſcheinung iſt nach dem obigen leicht. Wie bei den Hauchbildern geht, während der Stempel mit poſitiver Elektricität geladen wird, die poſitive Elektricität von der unteren Glimmerfläche zu der Metallplatte und zwar hier durch das feuchte Papier über, und durch dieſen Uebergang der $+E$ zur Metallplatte wird das Jodkalium zerſetzt; ſobald eine Entladung zwiſchen den Kugeln des Funkenmikrometers ſtattfindet, findet zwiſchen der Metallplatte und dem Glimmer eine entgegengeſetzte Strömung Statt, es kehrt nämlich jetzt die $+E$ zum Glimmer zurück, alſo $-E$ vom Glimmer durch die feuchte Scheibe zum Metall. Während die $+E$ zum Metall geht, wird das Jodkalium zerlegt und dieſer Effect wird durch die Entladung in entgegengeſetzter Richtung nicht aufgehoben.

Sehr zu bemerken iſt, daß das Uebergehen der $+E$ vom Glimmer zum Metall allmälig ſtattfindet, während die Entladung in entgegengeſetzter Richtung momentan vor ſich geht.

Wiederholt man den Verſuch genau in derſelben Weiſe mit $-E$, ſo erhält man kein Bild, ſondern unregelmäßige braune Flecken.

Dies erklärt ſich nun auch leicht; hier geht nämlich die negative Elektricität allmälig zur Metallplatte, während die Strömung in entgegengeſetzter Richtung plötzlich vor ſich geht, alſo eine größere Menge poſitiver Elektricität auf einmal zur Metallplatte zurückkehrt, alſo leichter auch an ſolchen Punkten übergeht, die außerhalb der Bildfläche liegen.

Um mit negativer Elektricität ein Bild zu erhalten, hat man nur dafür zu ſorgen, daß die Menge der $+E$, welche bei der Entladung zwiſchen den Kugeln zur Metallplatte zurückkehrt, geringer wird, was man dadurch erreicht, daß man die Kugeln des Funkenmikrometers einander nähert.

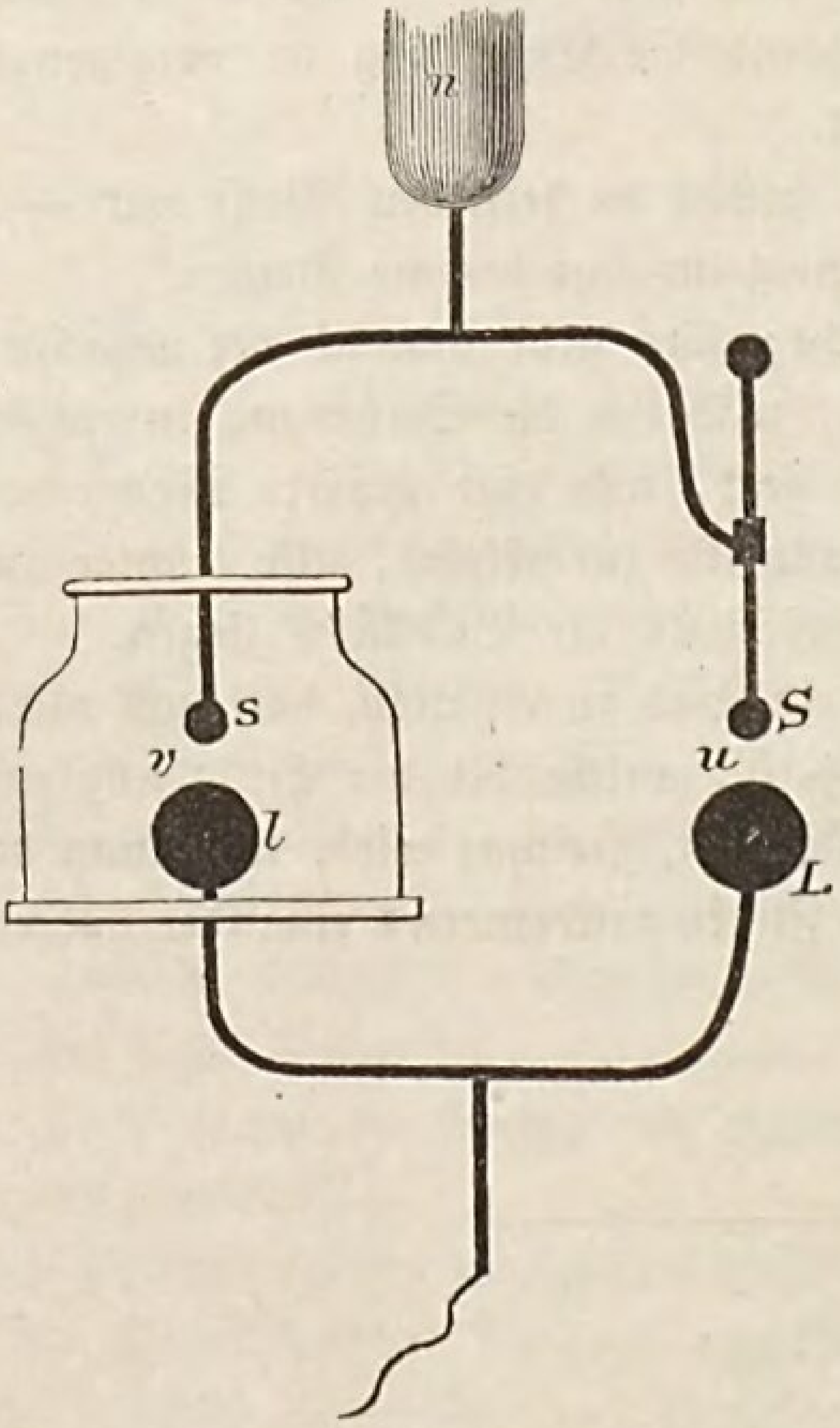
Vierter Abſchnitt.

Elektriſche Funken und Lichtbüſchel.

---

79 **Faraday's Unterſuchungen über Funken und Lichtbüſchel.** Ohne näher auf die an einer andern Stelle (Seite 64) ſchon erwähnten theoretiſchen Betrachtungen einzugehen, welche Faraday über Funken und Lichtbüſchel anſtellte, will ich hier nur die wichtigſten Thatſachen zuſammenſtellen, welche er bei ſeinen Verſuchen über dieſe Lichterſcheinungen ermittelt hat. (P. A. XLVII. und XLVIII.)

Fig. 72.



Um den Widerſtand, welchen verſchiedene Gaſe dem Ueberſchlagen von Funken entgegenſetzen, mit dem entſprechenden Widerſtande der Luft zu vergleichen, wandte Faraday einen Apparat an, deſſen Schema in Figur 72 dargeſtellt iſt. Zwei kleine Kugeln *s* und *S*, die mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine verbunden ſind, ſtehen zwei größern Kugeln *l* und *L* gegenüber, welche ableitend mit dem Boden in Verbindung

ſtehen. Der Durchmeſſer der Kugeln war folgender:

s	0,93 Zoll	l	2,02 Zoll
S	0,96 »	L	1,95 »

Der Zwiſchenraum v zwiſchen s und l blieb beſtändig 0,62 Zoll; der Zwiſchenraum u zwiſchen S und L war veränderlich.

Es wäre ſehr gut geweſen, wenn die beiden kleinen Kugeln s und S einander vollkommen gleich geweſen wären, ebenſo hätten eigentlich l und L ganz gleich ſeyn ſollen, man hätte alsdann viel ſicherere Schlüſſe aus den folgenden Verſuchen ziehen können.

Die beiden Kugeln s und l befanden ſich in einer Glasglocke, die luftleer gemacht und dann mit verſchiedenen Gaſen gefüllt werden konnte.

War der Recipient mit Luft unter dem Drucke der Atmoſphäre gefüllt, ſo ſchlugen die Funken abwechſelnd bei u und v über, wenn der Zwiſchenraum bei u zwiſchen 0,6 und 0,79 Zoll betrug. Nur wenn der Zwiſchenraum u kleiner als 0,6 Zoll war, ſchlugen hier die Funken beſtändig über, war er aber größer als 0,79 Zoll, ſo ſchlugen die Funken beſtändig bei v über.

Aehnliche Reſultate wurden erhalten, wenn andere Gaſe, unter dem Drucke der Atmoſphäre im Recipienten waren. Es ergaben ſich für den Zwiſchenraum bei u zwei Gränzen, innerhalb deren der Funke bald bei u, bald bei v überſchlägt; iſt der Zwiſchenraum bei u kleiner als der kleinſte dieſer Gränzwerthe, ſo ſchlägt der Funken ſtets bei u, iſt er aber größer als der größte dieſer Gränzwerthe, ſo ſchlägt er ſtets bei v über. Die folgende Tabelle giebt für verſchiedene Gaſe die Gränzwerthe von u an, während v ſtets 0,62 Zoll bleibt.

		kleinſter	größter	mittlerer
Luft s und S	+	0,60	0,79	0,695
	—	0,59	0,68	0,635
Sauerſtoff s und S . .	+	0,41	0,60	0,505
	—	0,50	0,52	0,510
Stickſtoff s und S . .	+	0,55	0,68	0,615
	—	0,59	0,70	0,645
Waſſerſtoff s und S . .	+	0,30	0,44	0,370
	—	0,25	0,30	0,275
Kohlenſäure s und S .	+	0,56	0,72	0,640
	—	0,58	0,60	0,590
Oelbildendes Gas s und S	+	0,64	0,86	0,750
	—	0,69	0,77	0,730
Steinkohlengas s und S	+	0,37	0,61	0,490
	—	0,47	0,58	0,525
Salzſäuregas s und S .	+	0,89	1,32	1,105
	—	0,67	0,75	0,720

Eine ähnliche Verſuchsreihe gab

		kleinſter	größter	mittlerer
für Waſſerſtoff	s und S +	0,23	0,57	0,400
» Kohlenſäure	s und S +	0,51	1,05	0,780
» ölbildendes Gas	s und S +	0,66	1,27	0,965

was mit den obigen Reſultaten eben nicht ſehr übereinſtimmt, ein Beweis, daß dieſe Zahlen keine ſonderliche Baſis bieten, um Schlüſſe darauf zu bauen.

Daß innerhalb gewiſſer Gränzen für die Entfernung bei u der Funken abwechſelnd bei u oder v überſchlägt, daß es alſo nicht für jedes Gas einen einzigen feſt beſtimmten Werth von u giebt, über welchen hinaus der Funken ſtets bei v, unter welchen aber der Funken ſtets bei u überſpringt, hängt jedenfalls von Zufälligkeiten ab (vielleicht von Staubtheilchen die in der Luft ſchweben), über die wir keine Rechenſchaft geben können.

Wenn an einem der Zwiſchenräume einmal ein Funken übergegangen iſt, ſo hat er gewöhnlich eine ſtärkere Neigung zum Erſcheinen an demſelben Zwiſchenraume.

Ein merkwürdiger Umſtand liegt darin, daß die erwähnten Gränzwerthe der Entfernung u viel näher zuſammen fallen, wenn s und S negativ, als wenn dieſe Kugeln poſitiv ſind. Es iſt nämlich nach obiger Tabelle die Differenz der Gränzwerthe

	s und S +	s und S —
in Luft	0,19	0,09
Sauerſtoff	0,19	0,02
Stickſtoff	0,13	0,11
Waſſerſtoff	0,14	0,05
Kohlenſäure	0,16	0,02
ölbildendem Gas	0,22	0,08
Steinkohlengas	0,24	0,12
Salzſäuregas	0,43	0,08

Obwohl, wie Faraday ſelbſt bemerkt, dieſe Zahlen wohl noch einer bedeutenden Berichtigung bedürfen, ſo iſt doch das allgemeine Reſultat auffallend und der Unterſchied in mehreren Fällen ſehr groß.

Aus dieſen Verſuchen geht klar hervor, daß verſchiedene Gaſe nicht gleiches Iſolationsvermögen haben. Betrachten wir die mittleren Werthe von u (für poſitive Ladung von s und S), ſo ſehen wir daraus, daß eine 0,62 Zoll dicke Schicht von

Sauerſtoff .	eben ſo gut iſolirt wie eine Luftſchicht, deren Dicke iſt	0,505
Stickſtoff		0,615
Waſſerſtoff		0,370
Kohlenſäure		0,640
Ölbildendes Gas		0,750
Steinkohlengas		0,490
Salzſäuregas		1,105

d. h. eine elektriſche Entladung geht eben ſo leicht durch eine 0,370 Zoll dicke Luftſchicht, wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Waſſerſtoffgas, ein elektriſcher Funken ſchlägt eben ſo leicht durch eine 1,105 Zoll dicke Luftſchicht wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Salzſäuregas. Ein elektriſcher Funken ſchlägt alſo entſchieden leichter durch Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Steinkohlengas, als durch eine gleich dicke Schicht von Luft, dagegen ſetzt Salzſäuregas und ölbildendes Gas dem Ueberſchlagen des elektriſchen Funkens einen entſchieden größeren Widerſtand entgegen als eine gleich dicke Luftſchicht.

Aehnliche Reſultate ergab eine ſpätere, jedenfalls weniger zuverläſſige Verſuchsreihe. (P. A. XLVIII. S. 281.)

Die mittleren Werthe von u ſind nicht gleich bei poſitiver und negativer Ladung von s und S, für manche Gaſe hat u einen größeren mittleren Werth, bei poſitiver Ladung von S und s als bei negativer, bei anderen Gaſen iſt es umgekehrt; aus dieſen Verſuchen jedoch den Schluß ziehen zu wollen, daß manche Gaſe die negative, andere die poſitive Entladung beſſer durchlaſſen, ſcheint mir durchaus unzuläſſig, weil die hierher gehörigen Differenzen der obigen Tabelle offenbar innerhalb der Beobachtungsfehler liegen.

So iſt nach der Tabelle auf S. 187 der mittlere Werth von u bei poſitiver Ladung von s und S für

Waſſerſtoff . .	0,37
Kohlenſäure . .	0,64
ölbildendes Gas .	0,75,

während Faraday bei einer ſpäteren Verſuchsreihe bei gleicher Anordnung folgende Werthe erhielt:

Waſſerſtoff . .	0,40
Kohlenſäure . .	0,78
ölbildendes Gas .	0,96.

Man ſieht, daß die entſprechenden Werthe von u, welche man für poſitive Ladung von s und S erhielt, und welche eigentlich gleich ſeyn ſollten, eben ſo ſtark von einander differiren, wie die entſprechenden Werthe bei poſitiver und negativer Ladung von S und s, wonach es wohl als gerechtfertigt erſcheint, wenn man auf dieſe Differenzen kein weiteres Gewicht

legt; ein Grund mehr, welcher dafür ſpricht, dieſe Differenzen auf Koſten der Beobachtungsfehler zu ſchreiben, liegt darin, daß auch, wenn Luft in der Glocke iſt, wenn alſo der Funken bei v ebenfalls durch Luft ſchlägt, der poſitive und negative Mittelwerth für u ungleich gefunden wurde, nämlich wenn s und S poſitiv, war $u = 0{,}695$; als s und S negativ, war $u = 0{,}635$. — Dieſe Differenz kann doch nur zufälligen Störungen zugeſchrieben werden, welche eben die Beobachtungsfehler bedingen, denn warum ſollte bei poſitiver Ladung von s und S der Funken leichter durch die Luft bei v, bei negativer Ladung leichter durch die Luft bei u übergehn? — Wenn Luft im Gefäß iſt, hätte man den Werth von u für + und — Ladung von s und S doch nur unbedeutend verſchieden finden müſſen, wenn die Beobachtungsfehler nicht zu bedeutend wären.

Faraday ſelbſt hält dieſe Verſuche in dieſer Beziehung nicht für entſcheidend, führt aber noch einiges an, was für eine ſolche Differenz zwiſchen poſitiver und negativer Entladung ſprechen ſoll. Als $u = 0{,}8''$ gemacht und die Glocke mit Salzſäuregas gefüllt worden war, fand bei poſitiver Ladung von s und S die Entladung ſtets bei u durch Luft, bei negativer Ladung von s in S aber ſtets bei v durch das Salzſäuregas Statt.

So fand ſich auch, daß, wenn der Conductor nur mit dem Salzſäure-Apparat verbunden war, die Entladung leichter bei negativer Ladung der kleinen Kugel s geſchah, als bei poſitiver, denn in letzterem Falle ging viel von der Elektricität als Lichtbüſchel-Entladung aus dem Verbindungsdraht durch die Luft, allein im erſteren Falle ſchien alles durch das Salzſäuregas zu gehen. (P. A. XLVII. 287.)

80 **Ungleiche Schlagweite bei poſitiver und negativer Entladung.** Viele bekannte Erſcheinungen ſprechen allerdings dafür, daß die poſitive und negative Entladung nicht mit gleicher Leichtigkeit ſtattfinde. Wenn einer kleinen, mit dem Conductor verbundenen Kugel, welche alſo die vertheilende iſt, eine größere ableitend berührte (die vertheilte) gegenüberſteht, ſo erhält man bekanntlich faſt doppelt ſo lange Funken, wenn der Conductor poſitiv, als wenn er negativ iſt.

Faraday hat dieſen Umſtand näher unterſucht, und dabei folgende Thatſachen ermittelt.

Die Entladung ließ er vor ſich gehn zwiſchen zwei Kugeln, von denen die eine 2, die andere 0,25 Zoll im Durchmeſſer hatte. War die große Kugel mit dem Conductor verbunden, alſo die vertheilende, ſo erſchienen bei poſitivem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwiſchenraume von . . . . 0,49 Zoll
negative Büſchel, von der kleinen Kugel ausgehend allein, wenn der Zwiſchenraum größer war, als . . . . 0,52 »

Bei negativem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwiſchenraum von . . . . . 1,15 Zoll

Poſitive Büſchel, von der kleinen Kugel ausgehend allein,
wenn der Zwiſchenraum größer war als . . . . 1,65 »

Zwiſchen dieſen Gränzen erhielt er Funken und Büſchel gemiſcht.

Nun wurde die kleine Kugel mit dem Conductor in Verbindung gebracht, die große zum Boden abgeleitet. Es ergaben ſich bei poſitivem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwiſchenraum von . . . . . 0,67 Zoll

poſitive Büſchel allein, wenn der Zwiſchenraum größer war als 0,74 »

Bei negativem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwiſchenraum von . . . . 0,4 »

negative Büſchel allein, wenn der Zwiſchenraum größer war als 0,44 »

Aus dieſen Verſuchen ergiebt ſich alſo:

1) man erhält längere Funken, wenn die kleine Kugel poſitiv elektriſch iſt,

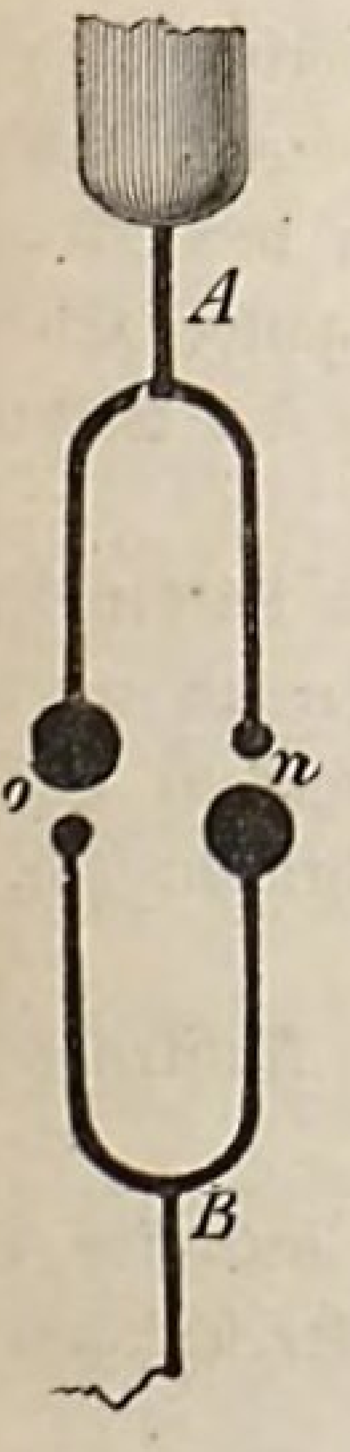
2) man erhält längere Funken, wenn die große Kugel die vertheilende und die kleine die vertheilte iſt.

Wenn die kleine Kugel Elektricität in Form von Büſcheln entladet, ſo ſind die Büſchel weit zahlreicher, und ein jeder ſcheint viel weniger elektriſche Kraft fortzuführen, wenn die ſo entladene Elektricität negativ, als wenn ſie poſitiv iſt.

Dies ſcheint anzudeuten, daß die kleine Kugel zur Entladung eine ſtärkere Spannung erfordert, wenn ſie poſitiv, als wenn ſie negativ iſt.

Um dieſen wichtigen Punkt zu erläutern, ſtellte Faraday einen Apparat zuſammen, der in Fig. 73 ſchematiſch angedeutet iſt: Eine Gabel *A*, eine große und eine kleine Kugel tragend, war mit dem Conductor der Maſchine in Verbindung geſetzt; eine ganz gleiche Gabel ableitend berührt; die kleine Kugel einer jeden Gabel ſtand der großen der andern gegenüber. Die Zwiſchenräume zwiſchen *n* und *o* waren gleich. War der Conductor negativ, ſo ging die Entladung ſtets bei *n* vor ſich, was nicht auffallen kann, weil die negative Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n* jedenfalls ſtärker iſt, als die poſitive Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o*. Hätte aber nun, bei poſitiver Ladung des Conductors die Entladung bei *o* ſtattgefunden, ſo hätte man daraus erſehen, daß die ſchwächere negative Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o* ſich leichter entladet, als die weit ſtärkere poſitive Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n*, es wäre dieß ein ent-

Fig. 73.



ſcheidender Beweis für die leichtere Entladung der negativen Elektricität geweſen. Ein ſo entſcheidendes Reſultat gaben aber die Verſuche nicht; als die Zwiſchenräume bei *n* und *o* gleich 0,9 Zoll und als ſie 0,6 Zoll waren, fand die Entladung ſtets bei *n* Statt, mochte nun der Conductor poſitiv oder negativ ſeyn.

Der Zwiſchenraum *n* wurde 0,79″, der bei *o* gleich 0,58 Zoll gemacht. War der Conductor poſitiv, ſo war die Entladung an beiden Stellen *n* und *o* gleich, war er aber negativ, ſo geſchahen die Entladungen meiſt bei *n*, was allerdings darauf hindeutet, daß die kleine Kugel im negativen Zuſtande etwas leichter entladet, als im poſitiven, doch iſt dies Reſultat durchaus nicht entſcheidend.

Eine ähnliche Vorrichtung, wie die Fig. 73, wurde innerhalb eines Glasgefäßes angebracht, welches mit verſchiedenen Gaſen gefüllt werden konnte. Bei gleichen Zwiſchenräumen bei *n* und *o* erhielt Faraday für Kohlenſäure ganz entſchiedene Reſultate. Als der Conductor poſitiv war, fand die Entladung meiſt bei *o*, als er negativ war, ſtets bei *n* Statt, hier war alſo die negative Entladung entſchieden die leichtere; faſt eben ſo entſchieden zeigte ſich das Uebergewicht der negativen Entladung in Steinkohlengas. In Luft und Sauerſtoff zeigt ſich die größere Leichtigkeit der negativen Entladung ziemlich zweifelhaft, bei Stickſtoff und Waſſerſtoff zeigte ſich ſogar einige Wahrſcheinlichkeit für das entgegengeſetzte Verhalten.

Schon Belli hat Verſuche angeſtellt, aus welchen hervorgeht, daß die negative Elektricität leichter in Luft entweicht, als die poſitive (P. A. XXXX. 73).

Nachdem er einen Quadranten-Elektrometer auf einen horizontalen iſolirten Conductor befeſtigt und darauf poſitiv elektriſirt hatte, fand er im Mittel aus drei Verſuchen, daß das Elektrometer, um von 20° auf 10° zu ſinken, eine Zeit von 10 Minuten brauchte; mit negativer Elektricität waren dagegen, um dieſelben 10° zu durchſinken, nur 4,5 Minuten erforderlich.

81 **Funken in verſchiedenen Gaſen.** Die Erſcheinungen bei den Funken in verſchiedenen Gaſen ſind oft beobachtet und beſchrieben worden. Auch Faraday hat Verſuche über dieſen Gegenſtand angeſtellt und in ſeiner 12ten Reihe von Experimentalunterſuchungen beſchrieben (P. A. XLVII. 536).

Die Gaſe waren unter dem Druck der Atmoſphäre; die Funken ſchlugen zwiſchen Meſſingkugeln über.

In Luft, ſagt Faraday, haben die Funken jenes intenſive Licht und jene blaue Farbe, welche ſo bekannt ſind; und wenn die übergehende

Elektricitätsmenge nicht groß iſt, haben ſie oft ſchwache oder dunkle Stellen in ihrem Lauf.

In Stickgas ſind die Funken ſehr ſchön, im Allgemeinen von gleichem Anſehn, wie in Luft, doch entſchieden von mehr blauer und purpurrother Farbe, und, wie es Faraday ſchien, merkwürdig laut.

In Sauerſtoff waren die Funken weißer, als in Luft oder Stickgas, doch nicht ſo glänzend.

In Waſſerſtoff hatten ſie eine feine Carmoiſinfarbe; das Geräuſch war in dieſem Gaſe ſehr ſchwach.

In Kohlenſäure war die Farbe der in Luft ähnlich, doch mit Beimiſchung von etwas Grün. Die Funken waren von merkwürdig unregelmäßiger Geſtalt, mehr als in gemeiner Luft.

In Salzſäuregas war der Funken faſt weiß, durch und durch gleich hell, nirgends jene dunklen Stellen zeigend, welche in Luft, Stickgas u. ſ. w. vorkommen.

In Steinkohlengas war der Funken zuweilen grün, zuweilen roth, zuweilen an einer Stelle grün, an einer andern roth. Auch kommen in der Linie des Funkens ſehr plötzlich dunkle Stellen vor.

Die Funken können in weit dichteren Mitteln als die Luft, z. B. in Terpentinöl, Baumöl, Harz, Glas, Wallrath, Waſſer ꝛc. erhalten werden.

Büſchel. Die wichtigſten thatſächlichen Bemerkungen, welche Fara- 82
day in Beziehung auf Büſchel gemacht hat, dürften wohl folgende ſeyn. (P. A. XLVII.)

Büſchel und Funken gehen allmälig in einander über. (Faraday nennt den elektriſchen Lichtbüſchel einen Funken gegen Luft.) Macht man den Conductor einer guten Elektriſirmaſchine poſitiv elektriſch, ſo kann man an einer kleinen, an dieſem Conductor befeſtigten Kugel ſehr ſchöne Uebergänge von Funken und Lichtbüſcheln erhalten. Die von van Marum (Beſchreibung der großen Maſchine im Taylor'ſchen Muſeum; deutſche Ueberſetzung von 1786. Tab. III. Fig. 1), Harris (phil. Trans. 1834 pag. 243) und andern gelieferten Abbildungen langer und kräftiger Funken zeigen auch dieſelben Erſcheinungen (1448) (nämlich eine Veräſtelung des Funkens, durch welche eben der Uebergang zum Büſchel gemacht wird).

Wenn von einem iſolirten Leiter, der mit dem poſitiven Conductor der Elektriſirmaſchine verbunden iſt, ein 0,3 Zoll dicker Metallſtab abwärts von der Maſchine hervorragt, deſſen Ende abgerundet oder mit einer kleinen Kugel verſehen iſt, ſo giebt er gewöhnlich gute Luftbüſchel, oder wenn die Maſchine nicht in rechter Wirkſamkeit iſt, läßt ſich die Bildung der Büſchel durch verſchiedene Mittel befördern; ſo kann man die Hand oder

irgend eine große leitende Fläche jenem Ende nähern, oder man kann das Ende kleiner und von ſchlecht leitender Subſtanz, z. B. Holz nehmen, oder von dem Conductor der Maſchine auf einen zweiten, welcher das büſchelgebende Ende trägt, die Elektricität in Funken übergehen laſſen, oder endlich die Luft um das Stabende verdünnen (1425).

Daß der Büſchel keine continuirliche Entladung ſey, geht ſchon daraus hervor, daß man allmälige Uebergänge von Funken in Büſcheln nachweiſen kann. Bei richtigem Größenverhältniß der kleinen Kugel zu der Kraft der Maſchine erhält man Büſchel, in welchen man unmittelbar ſieht, daß er aus raſch einander folgenden ſtark veräſtelten Funken beſteht; wirkt nun die Maſchine noch kräftiger, oder ſetzt man bei unveränderter Wirkſamkeit der Maſchine eine noch kleinere Entladungskugel auf, ſo erhält der Büſchel ein mehr gleichförmiges Anſehn, welches Faraday ſehr gut mit folgenden Worten beſchreibt: »Ein kurzer kegelförmiger heller Theil ſchießt geradezu von der Mitte des Knopfes aus, und breitet ſich in einem kleinen Abſtande von der Kugel plötzlich in einen breiten Büſchel von blaſſen Zweigen aus, die in zitternder Bewegung ſind, begleitet von einem leiſen kniſternden Geräuſche (1426).

Auf den erſten Blick ſcheint ein ſolcher Büſchel zuſammenhängend zu ſeyn, allein Wheatſtone hat gezeigt, daß er aus einer Reihe intermittirender Entladungen beſteht (P. A. XXXIV. 469), was ſich wohl bei dem allmäligen Uebergang von Funken in Büſchel erwarten ließ. Faraday giebt eine ganz einfache Methode an, die continuirlich ſcheinenden Büſchel in ſeine elementaren Theile ohne Hülfe des Wheatſtone'ſchen rotirenden Spiegelapparates zu zerlegen, er ſagt nämlich: wenn man das Auge nicht durch eine Bewegung des Kopfes, ſondern des Augapfels ſelbſt raſch quer durch die Richtung des Büſchels führt, indem man ſtandhaft erſt 10 bis 15 Grad darüber und dann eben ſoviel darunter wegſieht, ſo löſ't ſich der allgemeine Büſchel in eine Anzahl beſonderer Büſchel auf (1427). Mir hat dieſe Zerlegungsmethode nicht recht gelingen wollen.

Bei Anwendung einer kleineren Kugel wird der allgemeine Büſchel kleiner, und das Geräuſch, obwohl ſchwächer, doch continuirlicher. Bei Auflöſung in ſeine elementaren Beſtandtheile zeigen ſie ſich dann in weit kürzern Intervallen auftretend

Bei Anwendung eines Drahtes mit rundem Ende wird der Büſchel noch kleiner, aber immer noch in ſucceſſiven Entladungen trennbar. Das Geräuſch, obwohl ſchwächer, wird höher im Klang und ein deutlicher muſikaliſcher Ton.

In der That entſpringt das Geräuſch aus dem wiederholten Laut einer jeden einzelnen Entladung, und da dieſe unter gewöhnlichen Umſtänden in faſt gleichen Zwiſchenräumen auftreten, ſo entſteht ein beſtimmter Ton,

deſſen Höhe mit vermehrter Schnelligkeit und Regelmäßigkeit der Entladung ſteigt.

Werden immer dünnere Drähte angewandt, ſo werden immer kleinere Lichtbüſchel erhalten, bis ſie endlich kaum noch als Büſchel erkannt werden können. So lange indeſſen noch ein Geräuſch gehört wird, läßt ſich die Entladung auch durch das Auge als intermittirend erkennen; ſobald das Geräuſch verſchwindet, wird das Licht continuirlich, der Büſchel geht in ein Glimmen über.

Für die, welche nicht gewohnt ſind, das Auge in der oben beſchriebenen Weiſe zu gebrauchen, iſt Wheatſtones Apparat mit dem rotirenden Spiegel anzuwenden. Ein anderes treffliches Verfahren (den Büſchel zu zerlegen) beſteht darin, daß man den Lichtbüſchel am Ende eines Stabes erzeugt, den man in der Hand dem Conductor der Maſchine gegenüber hält und darauf raſch von einer Seite zur andern bewegt, während das Auge ruhig bleibt (1428 — 1433).

Büſchel in verſchiedenen Gaſen. Die Verſuche über Büſchel in ver- 83
ſchiedenen Gaſen ſtellte Faraday mit Meſſingſtäben an, die ungefähr ¼ Zoll dick waren und deren zugerundete Enden ſich in einer das Gas enthaltenden Glaskugel von 7 Zoll Durchmeſſer einander gegenüberſtanden. Der eine dieſer Stäbe war mit dem Conductor verbunden, der andere ableitend berührt. (P. A. XLVII. 553.)

Luft. — Unter gewöhnlichem Druck ſind in Luft ſchöne poſitive Büſchel von dem wohlbekannten Purpurlicht leicht zu erhalten. In verdünnter Luft ſind die Verzweigungen ſehr lang und die Kugel ausfüllend, das Licht iſt ſehr ſtark und von ſchöner Purpurfarbe, zuweilen mit einem Stich ins Roſenrothe.

Sauerſtoff. — Unter gewöhnlichem Druck iſt der Büſchel ſehr dicht und zuſammengedrückt, von matt weißlicher Farbe. In verdünntem Sauerſtoff ſind Geſtalt und Anſehen beſſer, die Farbe etwas purpurn, doch alle Eigenſchaften ſehr ärmlich in Vergleich zu denen in Luft.

Stickſtoff giebt an der poſitiven Fläche die Büſchel weit leichter als irgend ein anderes Gas, ſie ſind in Geſtalt, Licht und Farbe faſt immer ſchön, in verdünntem Stickgas ſogar herrlich; ſie übertreffen, was entwickelte Lichtmenge betrifft, die Entladungen in jedem andern Gaſe.

Waſſerſtoff giebt unter gewöhnlichem Druck einen beſſeren Büſchel als Sauerſtoff, doch keinen ſolchen wie Stickſtoff; die Farbe iſt grünlich. In verdünntem Waſſerſtoff ſind die Verzweigungen, was Geſtalt und Deutlichkeit betrifft, ſehr ſchön, aber blaß von Farbe; mit einem weichen ſammetartigen Anſehn und gar nicht gleich denen im Stickgas. Bei höchſt verdünntem Zuſtand des Gaſes iſt die Farbe des Lichtes ein blaſſes Graugrün.

Steinkohlengas. — Die Büſchel ſind etwas ſchwierig zu erzeugen; ſie ſind kurz und ſtark, gewöhnlich von grüner Farbe. In verdünntem Steinkohlengas ſind die Formen beſſer, aber das Licht iſt ſehr ſchwach und die Farbe grau.

Kohlenſäure liefert unter gewöhnlichem Druck ſehr ärmliche Büſchel. In verdünnter Kohlenſäure iſt der Büſchel beſſer von Geſtalt, doch ſchwächer an Licht, von matt grünlicher oder purpurrother Farbe.

Salzſäuregas. Unter gewöhnlichem Druck hält es ſchwer, einen Büſchel in dieſem Gas zu bekommen. Bei allmäliger Vergrößerung des Abſtandes zwiſchen den zugerundeten Enden verſchwinden die Funken plötzlich, wenn der Abſtand ungefähr einen Zoll beträgt und die dann noch in der Kugel durch das Gas ſtattfindende Entladung iſt eine ruhige und dunkle. Hin und wieder iſt zwar auf Augenblicke ein kurzer Büſchel zu erhalten, allein er verſchwindet wiederum ſehr ſchnell. Selbſt bei Anwendung eines intermittirenden Funkenſtroms aus der Maſchine erhielt man nur ſchwierig Büſchel und zwar ſehr kurze; unterdeſſen gingen prachtvolle Büſchel von verſchiedenen Stellen der Maſchine in die umgebende Luft über. Beim Verdünnen des Gaſes ward die Bildung des Büſchels erleichtert, allein er war doch von kleiner, unterſetzter Geſtalt, ſehr arm an Licht und ſehr ähnlich am poſitiven und negativen Stabende. Bei noch größerer Verdünnung des Gaſes werden einige wenige große Verzweigungen von blaßbläulicher Farbe erhalten, die denen im Stickgas äußerſt ungleich waren.

84 **Büſchel in dichteren Mitteln.** Nicht blos in Luft und Gaſen, ſondern auch in weit dichteren Mitteln laſſen ſich elektriſche Lichtbüſchel erzeugen. Faraday erzeugte ſie im Terpentinöl (1452) am Ende eines Drahtes, welcher durch eine Glasröhre in das in einem Metallgefäß enthaltene Oel ging. Der Büſchel war jedoch klein und ſehr ſchwierig zu erhalten; die Verzweigungen waren einfach, ausgeſtreckt und ſtark von einander divergirend. Das Licht war außerordentlich ſchwach, ſeine Wahrnehmung erfordert ein völlig dunkles Zimmer. Wenn ſich in der Flüſſigkeit einige feſte Theilchen, wie Staub oder Seide befanden, ſo wurden die Büſchel leichter erhalten.

85 **Verſchiedenheit der poſitiven und negativen Büſchelentladung.** Von dem, was Faraday über dieſen Gegenſtand ſagt, hebe ich Folgendes hervor:

Bei der Büſchelentladung in Luft zeigt ſich ein großer Unterſchied zwiſchen der poſitiven und negativen Fläche. Dieſen Unterſchied bezeichnete man früher ſo, daß man ſagte »eine poſitiv geladene Spitze gäbe Büſchel in der Luft, eine negativ geladene einen

Stern. Dieß iſt jedoch nur für ſchlechte Leiter oder für metalliſche Leiter wahr, die intermittirend geladen werden. Wenn Metallſpitzen frei in die Luft hineinragen, iſt das poſitive und negative Licht im Anſehn nicht ſo ſehr verſchieden.

Die Erſcheinungen ändern ſich mit den Umſtänden ſehr, laſſen ſich indeß wohl ſo angeben:

Wenn ein Metalldraht mit rundem Ende in freier Luft zur Bildung der Büſchel-Entladung gebraucht wird, ſo ſind die Büſchel bei negativer Ladung des Drahtes ſehr ärmlich und klein in Vergleich zu denen bei poſitiver Ladung des Drahtes; oder wenn eine große mit der Elektriſirmaſchine verbundene Metallkugel poſitiv geladen und ihr eine feine unisolirte Metallſpitze allmälig genähert wird, ſo erſcheint an dieſer, ſo lange ſie in beträchtlichem Abſtande iſt, ein Stern, der bei der Annäherung gegen die Kugel, obwohl heller werdend, ſeine Geſtalt nicht ändert, bis er dicht an derſelben angekommen iſt; iſt dagegen die Kugel negativ geladen, ſo erſcheint an der Spitze bei bedeutendem Abſtand ebenfalls ein Stern, wie zuvor allein bei größerer Annäherung bildet ſich an der Spitze ein Büſchel, der ſich bis zur negativen Kugel ausdehnt und noch näher hört der Büſchel auf und es ſchlagen Funken über.

Wie wir ſchon oben S. 191. geſehen haben, geht die Funkenentladung ſchon bei weit geringeren Entfernungen in Büſchel über, wenn die Fläche, an welcher die Entladung anfängt (die kleinere Kugel oder das abgerundete Stabende) negativ als wenn ſie poſitiv iſt; ſchreiten wir aber weiter fort in der Reihe der Veränderungen, ſo finden wir, daß der poſitive Büſchel lange vor der negativen in Glimmen übergeht.

Das Ende eines 0,3 Zoll dicken Meſſingſtabes gab am Conductor frei in die Luft ragend bei negativer Ladung einen kurzen lauten Büſchel; ſowohl durch das Auge als auch durch das Ohr wurde ermittelt, daß die ſucceſſiven Entladungen ungleich raſcher auf einander folgten, als bei poſitiver Ladung des Stabes zu gleichem Grade.

Bei poſitiver Ladung des Stabes war es leicht, durch raſcheres Drehen der Maſchine den Büſchel in ein Glimmen zu verwandlen, allein bei negativer Ladung ließ ſich die Umwandlung des Büſchels in Glimmen durchaus nicht bewirken.

Eine Spitze gegenüber dem negativen Büſchel zeigte einen Stern, und bei größerer Annäherung bewirkte ſie zunächſt eine Abnahme des negativen Büſchels in Geſtalt und Geräuſch und zuletzt ein gänzliches Aufhören deſſelben, ſo daß das negative Ende ruhig und finſter ward, und doch noch zu entladen fortfuhr (1469).

Wurde das zugerundete Ende eines dünneren Drahtes dem negativen Büſchel genähert, ſo zeigte es (durch Vertheilung poſitiv geworden)

bei 8 Zoll Abſtand ein ruhiges Glimmen, während der negative Büſchel fortbeſtand. Mehr genähert erhöhte ſich der Ton des negativen Büſchels, eine ſchnellere Intermittenz anzeigend; noch näher ſandte das poſitive Ende Veräſtelungen und deutliche Büſchel aus und zugleich zog ſich der negative Büſchel in ſeinen Seitenrichtungen zuſammen, eine eigenthümliche, ſchmale längliche Geſtalt, wie ein Haarpinſel annehmend; beide Büſchel waren gleichzeitig vorhanden, doch verſchieden im Anſehen und beſonders darin, daß die negativen Entladungen raſcher folgten als die poſitiven. Als zu demſelben Verſuch ein noch dünnerer poſitiver Draht gebraucht wurde, erſchien zuerſt an ihm ein Glimmen und dann ein Büſchel, der bei einer beſtimmten Entfernung dem negativen ganz gleich wurde (1470).

In Luft iſt bekanntlich der poſitive Büſchel der überwiegende. In Stickgas iſt er eben ſo groß und ſelbſt größer als in Luft. In Waſſerſtoff verliert der poſitive Büſchel etwas von ſeiner Ueberlegenheit, indem er nicht ſo gut iſt wie in Stickgas und Luft, während der negative Büſchel nicht beeinträchtigt erſcheint. In Sauerſtoff iſt der poſitive Büſchel gedrungen und ärmlich, während der negative nicht verſchlechtert ſcheint; beide ſind ſo gleich, daß das Auge ſie häufig nicht unterſcheiden kann. In Steinkohlengas ſind die Büſchel ſchwierig hervorzubringen und der poſitive iſt nicht viel ausgezeichneter als der negative, weder bei gewöhnlichem noch bei niederm Druck. In Kohlenſäure findet dieſe Annäherung im Charakter ebenfalls Statt. In Salzſäuregas iſt der poſitive Büſchel ſehr wenig beſſer als der negative.

86 **Glimmentladung.** (P. A. XLVIII. 424.) Das Glimmen ſcheint von einer raſchen und faſt ununterbrochenen Ladung der Luft dicht bei dem Conductor abzuhängen. Niemals vermogte Faraday das Glimmen in ſichtbar intermittirende Elementarentladungen zu zerlegen.

Das Glimmen entſteht

1) durch Verkleinerung der ladenden Fläche. Am Ende eines Metallſtabs mit ſtumpfer coniſcher Spitze läßt ſich um ſo leichter ein phosphorescirendes ſtetiges Glimmen erhalten, je dünner ſie iſt;

2) durch Verſtärkung der Kraft der Maſchine. Zugerundete Enden, welche nur Lichtbüſchel geben, wenn die Maſchine ſchwach wirkt, liefern das Glimmen leicht, wenn die Maſchine in gutem Gang iſt;

3) durch Verdünnung der Luft. Eine Meſſingkugel von 2½ Zoll Durchmeſſer, die unter der Glocke einer Luftpumpe vertheilend poſitiv gemacht wurde, bedeckte ſich zum Theil mit einem Glimmen, als der Luftdruck auf 4,4 Zoll verringert worden war. Durch eine geringe Ajuſtirung ließ ſich die Kugel ganz mit dieſem Licht bekleiden. Bei Anwen-

dung einer Meſſingkugel von $1^1/_4$ Zoll Durchmeſſer, die durch eine vertheilende negative Spitze vertheilt poſitiv gemacht wurde, war die Erſcheinung ſehr ſchön. Das Glimmen verbreitete ſich über die ganze poſitive Kugel und nahm allmälig an Helligkeit zu, bis es zuletzt ſehr leuchtend war; auch richtete es ſich auf, gleich einer ſchwachen Flamme, von der Höhe eines halben Zolls und mehr.

Das negative Glimmen in der Luft unter gewöhnlichem Druck zu erhalten, iſt ſchwierig; ja es iſt noch zweifelhaft, ob der ſogenannte negative Stern ſelbſt auf feinen Spitzen nicht ein ſehr reducirter, aber noch intermittirender Lichtbüſchel oder ein eigentliches Glimmen iſt.

In verdünnter Luft läßt ſich das negative Glimmen leicht erhalten. Wenn die zugerundeten Enden zweier etwa 0,2 Zoll dicker Metallſtäbe in verdünnter Luft etwa 4 Zoll von einander abſtehen, dann kann man das Glühen leicht auf beiden Stäben erhalten, und nicht blos an den Enden, ſondern noch ein oder zwei Zoll dahinter. Auch eine Kugel ließ ſich in verdünnter Luft mit negativem Glimmen bekleiden, ſie mogte nun vertheilend oder vertheilt ſeyn.

Das Glimmen zeigt ſich in allen Gaſen, welche Faraday bisher unterſuchte. Er glaubt es auch in Terpentinöl erhalten zu haben, doch war es jedenfalls ſehr matt und gering.

Das Glimmen iſt ſtets von einem Winde begleitet, der entweder von dem glimmenden Theile weg, oder auf ihn zubläſt; das erſtere iſt jedoch das häufigſte. Wenn man macht, daß der leichte und regelmäßige Zutritt der Luft zu einem das Glimmen zeigenden Theile geſtört oder verhindert wird, ſo hört das Glimmen auf.

Häufig gelingt es, die Büſchel, welche ein Stabende giebt, dadurch in Glimmen zu verwandeln, daß man an dieſem Ende die Bildung eines Luftſtroms unterſtützt.

Dunkle Entladung. Wenn man einem auf dem Conductor der 87
Maſchine aufgeſteckten abgerundeten Metalldraht einen ähnlichen in einiger Entfernung entgegenhält, ſo iſt es leicht, an beiden Stabenden eine Lichterſcheinung zu erhalten, während der Zwiſchenraum zwiſchen dem poſitiven und negativen Licht dunkel bleibt; außer dieſen ſehr häufig vorkommenden Phänomen macht aber Faraday noch auf einen ganz beſonderen Fall dunkler Entladung aufmerkſam.

Zwei Meſſingſtäbe von 0,3 Zoll Dicke waren von der gegenüberliegenden Seite her in eine Glaskugel eingelaſſen und mit ihren Enden in Berührung gebracht; die Luft in der Kugel war ſtark verdünnt. — Nun wurde eine elektriſche Entladung aus der Maſchine durch ſie hindurchgeleitet, und während dieſe fortfuhr, wurden die Enden von einander getrennt. Im Moment der Trennung erſchien auf dem Ende des negativen

Stabes ein andauerndes Glimmen, während das poſitive Ende dunkel blieb. Bei Vergrößerung der Entfernung erſchien ein purpurfarbener Streif oder Nebel auf dem Ende des poſitiven Stabes und ſchritt vorwärts direct auf den negativen Stab los; er verlängerte ſich bei Vergrößerung des Zwiſchenraums, vereinigte ſich aber niemals mit dem negativen Glimmen, indem ſtets ein kurzer dunkler Raum dazwiſchen blieb. Dieſer dunkle Raum von ungefähr $^1/_{16}$ bis $^1/_{20}$ Zoll war anſcheinend unveränderlich in Ausdehnung und Lage in Bezug auf den negativen Stab; auch erlitt das negative Glimmen keine Veränderung. Der Effect war auch gleich, das negative Ende mogte vertheilend oder vertheilt ſeyn.

Mit Kugeln ſtatt der abgerundeten Stabenden wurden ähnliche Erſcheinungen erhalten.

88 **Fortführende Entladung.** Beim Funken, beim Büſchel und wohl auch beim Glimmen wird das Di-elektricum durchbrochen, und deshalb nennt Faraday dieſe Entladungsformen auch die zerreißende Entladung. Bei den Lichtbüſcheln und noch mehr beim Glimmen tritt aber noch eine weitere Entladungsform ein, welche ſich durch den ſogenannten elektriſchen Wind kund giebt, und welche darin beruht, daß die Theilchen des Di-elektricums, welche zunächſt mit dem geladenen Leiter (alſo etwa dem elektriſchen Stabende) in Berührung ſind, eine elektriſche Ladung annehmen und in Folge deſſen abgeſtoßen werden, und ſo die Ladung des Leiters mit fortführend, denſelben entladen.

Warum eine Spitze für die Erzeugung ſolcher Ströme ſo außerordentlich günſtig ſeyn müſſe, iſt einleuchtend. An einer ſolchen Spitze erreicht die Ladung der Luft zuerſt die erforderliche Intenſität, von ihm weichen die geladenen Theilchen zurück, und die mechaniſche Kraft, welche ſie der Luft einprägt, um einen Strom zu bilden, wird in jeder Hinſicht begünſtigt durch die Geſtalt und Lage des Stabes, deſſen Ende die Spitze iſt.

Wenn Staubtheilchen in der Luft ſchweben, ſo wird dadurch die Fortführung der Elektricität begünſtigt.

Bei Anwendung von Terpentinöl als Di-elektricum läßt ſich die Wirkung und der Lauf kleiner leitender fortſchaffender Theilchen gut beobachten.

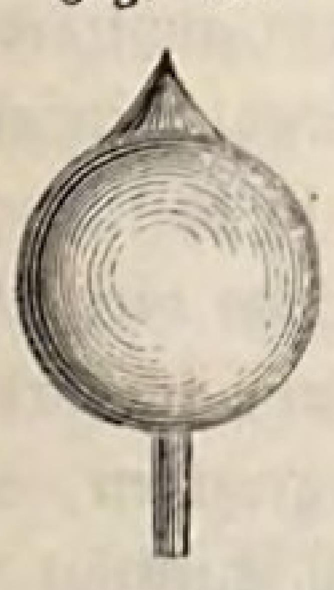
Beim Terpentinöl wurde eine ſehr auffallende Erſcheinung beobachtet, von der es noch zweifelhaft iſt, ob ſie von dem Fortführungsvermögen der Theilchen in demſelben oder von irgend einer andern Wirkung derſelben herrührt. — In einem Glaßgefäße, auf deſſen Boden eine große uniſolirte Silberſcheibe lag, befand ſich eine Portion dieſes Oels, in welches oben ein elektriſirter Metallſtab mit rundem Ende eintauchte. Die Iſolation war ſehr gut. Als man aber den Stab mit einem daran hängenden Tropfen Gummiwaſſer eintauchte und dann elektriſirte, ſtrömte das Gummiwaſſer ſogleich in feinen Fäden fort und zerſtreute ſich raſch im Ter-

pentinöl. Während der Zeit, daß vier Tropfen ſich auf dieſe Weiſe mit dem Di-elektricum vermengt hatten, hatte das Oel größtentheils ſein Iſolationsvermögen verloren und die Flüſſigkeit war ſchwach getrübt. Auf bloße Filtration durch Papier erlangte es ſeine frühere Klarheit wieder und iſolirte nun ſo gut wie vorher. Leitende flüſſige Enden ſtatt ſtarrer Spitzen erläutern ſehr ſchön die Bildung von Strömen, ſo wie deren Effecte und Einflüſſe auf Erhöhung der Zuſtände, unter denen ſie begonnen. Es ſey das zugerundete Ende eines ungefähr 0,3 Zoll dicken Stabes in freier Luft abwärts gerichtet, es ſey amalgamirt und es hänge daran ein Tropfen Queckſilber. Nun elektriſire man es kräftig. Das Queckſilber wird das Phänomen des Glimmens zeigen, ein Luftſtrom wird längs des Stabes fortfließen und aus dem Queckſilber gerade heruntergehn. Die Geſtalt des Metalltropfens wird dadurch etwas geändert, er wird etwas verlängert, an den Seiten alſo wird ſeine Krümmung etwas vermindert, während die Krümmung am unteren Ende etwas zunimmt.

Fig. 74.

Man nehme nun ſtatt des Queckſilbertropfens einen Tropfen ſtarker Chlornatriumlöſung. Bei Elektriſirung deſſelben wird wohl ein Theil zerſtreut, allein wenn die Elektricität nicht zu ſtark iſt, bleibt das meiſte und bildet einen coniſchen Tropfen (Fig. 74), begleitet von einem ſtarken Winde. Wenn Glimmen da iſt, hat der Tropfen eine glatte Oberfläche, bildet ſich aber ein kurzer ſchwacher Büſchel, ſo iſt eine kleine zitternde Bewegung in der Flüſſigkeit ſichtbar.

Fig. 75.



Mit einem Waſſertropfen waren die Erſcheinungen von gleicher Art, am beſten erhielt man ſie, wenn eine Portion Gummiwaſſer oder Syrup an einer Kugel hafteten, Fig. 75. Drehte man die Maſchine langſam, ſo bildete ſich ein ſchöner, großer, ruhiger, coniſcher Tropfen mit concavem Profil und kleinem zugerundetem Ende, an dem das Glimmen erſchien, während von der Spitze des Kegels ein ſteter Wind ausging, von hinreichender Stärke, um die Oberfläche von gegenübergehaltenem uniſolirtem Waſſer herabzudrücken. Drehte man die Maſchine raſcher, ſo wurde ein Theil des Waſſers fortgetrieben. Der kleine zugeſpitzte Rückſtand war etwas rauh auf der Oberfläche und man hörte das Geräuſch ſucceſſiver Büſchel-Entladungen. Bei noch mehr Elektricität ward noch mehr Waſſer zerſtreut; das was zurückblieb, ward wechſelsweiſe verlängert und zuſammengezogen; man hörte ſtarke Büſchel-Entladung. Wenn Waſſer von unten her dem Tropfen genähert wurde, zeigte es nicht mehr den regelmäßigen ſtarken, zuſammengezogenen Luftſtrom wie zuvor; und wenn die Entfernung

eine ſolche war, daß Funken überſchlugen, ward das Waſſer darunter eher angezogen als fortgeſtoßen und der Luftſtrom hörte auf.

Daß der Tropfen, wenn er von Waſſer oder einer beſſer leitenden Flüſſigkeit iſt, hauptſächlich durch den Luftſtrom ſeine Kegelgeſtalt bekommt, läßt ſich folgendermaßen zeigen. Man halte eine ſcharfe Spitze unter den coniſchen Tropfen, ſogleich verliert er ſeine Kegelform, zieht ſich zuſammen, wird rund; der Luftſtrom aus ihm hört auf und wird durch einen Strom aus der Spitze erſetzt, welcher, wenn ſie dem Tropfen nahe genug gehalten wird, denſelben ſeitwärts bläſt.

Tropfen von ſchlechteren Leitern, wie Oel oder Terpentinöl, werden zu Fäden ausgeſponnen und fortgeführt, nicht allein weil die auf ihrer Oberfläche dahinſtreichende Luft ſie wegfegen hilft, ſondern auch weil ihre iſolirenden Theilchen denſelben Ladungszuſtand wie die Luft annehmen, und da ſie unfähig ſind, ſich gegen die Lufttheilchen in ſtärkerem Grade zu entladen, wie dieſe unter ſich, ſo werden ſie durch dieſelben Urſachen fortgeführt, welche dieſe wegtreiben. Eine ähnliche Erſcheinung mit geſchmolzenem Siegellack an einer Metallſpitze bildet einen alten und wohl bekannten Verſuch.

Ein Tropfen Gummiwaſſer in der entleerten Glocke der Luftpumpe erlitt bei der Elektriſirung keine merkliche Aenderung ſeiner Geſtalt, was zum Theil von der geringen Stärke der Luftſtröme, zum Theil daher rühren mag, daß der Spannungszuſtand der Elektricität auf die Kugel in verdünnter Luft nicht ſo groß wird, wie in verdichteter.

Damit man mich nicht mißverſtehe, ſagt Faraday, muß ich bemerken, daß ich den Kegel nicht für alleinig gebildet durch die Luftſtröme anſehe. Wenn der Tropfen aus ſchlecht leitender Subſtanz beſteht, rührt ein Theil des Effects von dem elektriſirten Zuſtand der Theilchen her.

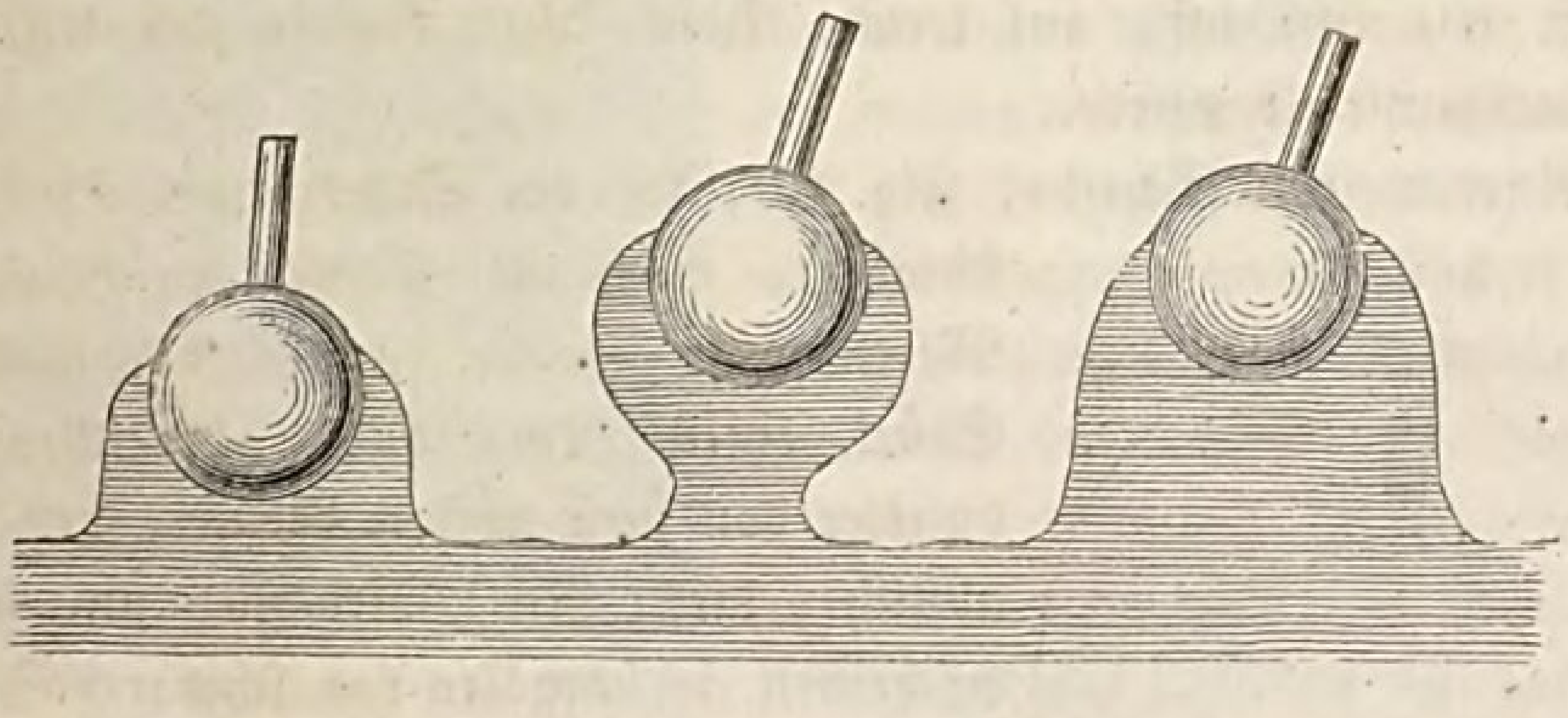
In dichten iſolirenden Di-electricis zeigen die Ströme einen außerordentlichen Grad von mechaniſcher Kraft. Bringt man z. B. wohl rectificirtes Terpentinöl in ein Glasgefäß, taucht an verſchiedenen Orten in daſſelbe zwei Drähte, von denen der eine mit dem Conductor der Maſchine verbunden, der andere ableitend berührt iſt, und dreht man die Maſchine, ſo wird die Flüſſigkeit durch ihre ganze Maſſe hin in heftige Bewegung gerathen, während ſie zugleich an dem Draht der Maſchine 2, 3, 4 Zoll aufſteigt und von ihm in Strahlen in die Luft ſchießt.

Ein Tropfen Queckſilber, der an einer amalgamirten Meſſingkugel hing, behielt ſeine Geſtalt in der Luft faſt unverändert, wenn er aber in Terpentinöl getaucht ward, ſo wurde er ſehr ſpitz und es konnten ſogar Queckſilbertheilchen ausgeſponnen und fortgeführt werden. Die Geſtalt des flüſſigen Metalls war gerade ſo wie die von Syrup in Luft.

Gießt man auf den Boden eines Gefäßes Queckſilber, welches man mit dem Conductor der Elektriſirmaſchine verbindet, gießt man darauf eine an-

dere Flüſſigkeit, etwa Terpentinöl, ſo beobachtet man, wenn man einen mit einer Kugel von 3/4 Zoll Durchmeſſer endigenden Stab in die Flüſſigkeit eintaucht, ſehr auffallende Erſcheinungen. Zieht man die Kugel wieder in die Höhe, ſo daß ſie beinahe zum Niveau der Flüſſigkeit heraustritt, ſo bleiben große Portionen derſelben an ihr haften, Fig. 76. Auch bei weiterer Hebung der Kugel bleibt ſie noch durch eine Säule Terpentinöl mit dem

Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78.



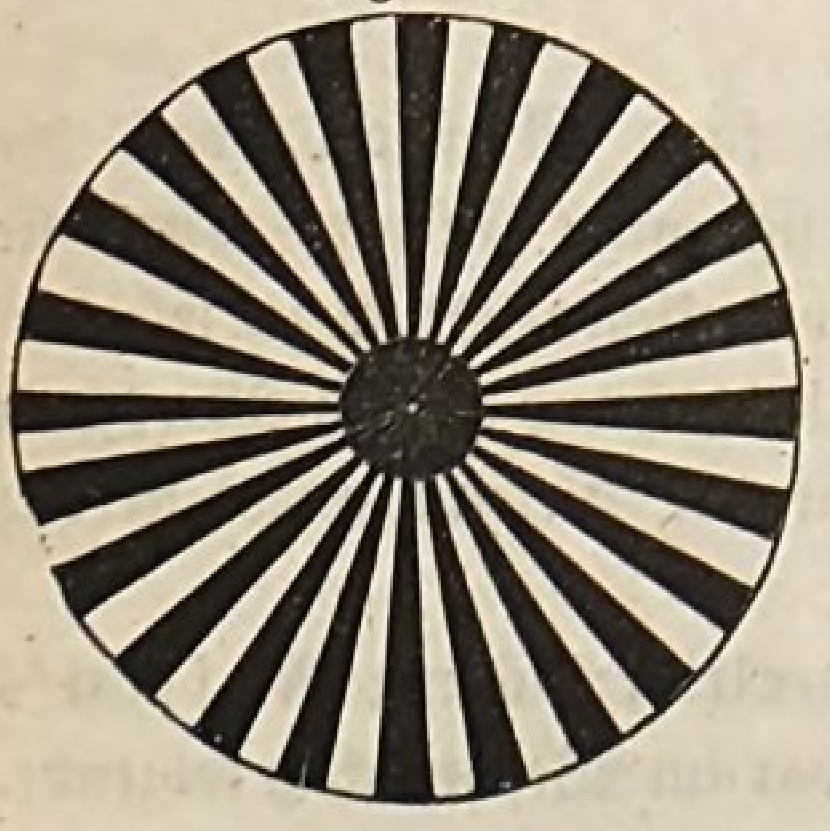
Gefäße verbunden Fig. 77. Setzt man die Maſchine in größere Thätigkeit, ſo wird das Gehobene maſſiger und ſteigt auch höher, dabei die Geſtalt Fig. 78 annehmend.

Bei dieſen Erſcheinungen zeigt ſich ein ſehr merkwürdiger Umſtand, nemlich, daß eine poſitiv geladene Kugel eine weit höhere und breitere Säule hebt als eine negativ geladene.

Geſetze der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens. Unter dem 89
Titel: »Etudes de photometrie électrique, publicirt Maſſon im 14ten Bande (1845, 3ter Theil) der annales de chimie et de physique p. 129 ſeine Unterſuchungen über die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens.

Die gewöhnlichen Photometer laſſen ſich nur für permanente und nicht für momentane Lichtquellen in Anwendung bringen, zur Meſſung der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens, welcher nur eine momentane Erleuchtung giebt, mußte alſo Maſſon auf ein neues photometriſches Princip ſinnen. In der That hat er ſeine Aufgabe auf eine ſehr ſinnreiche Weiſe gelöſt.

Fig. 79.



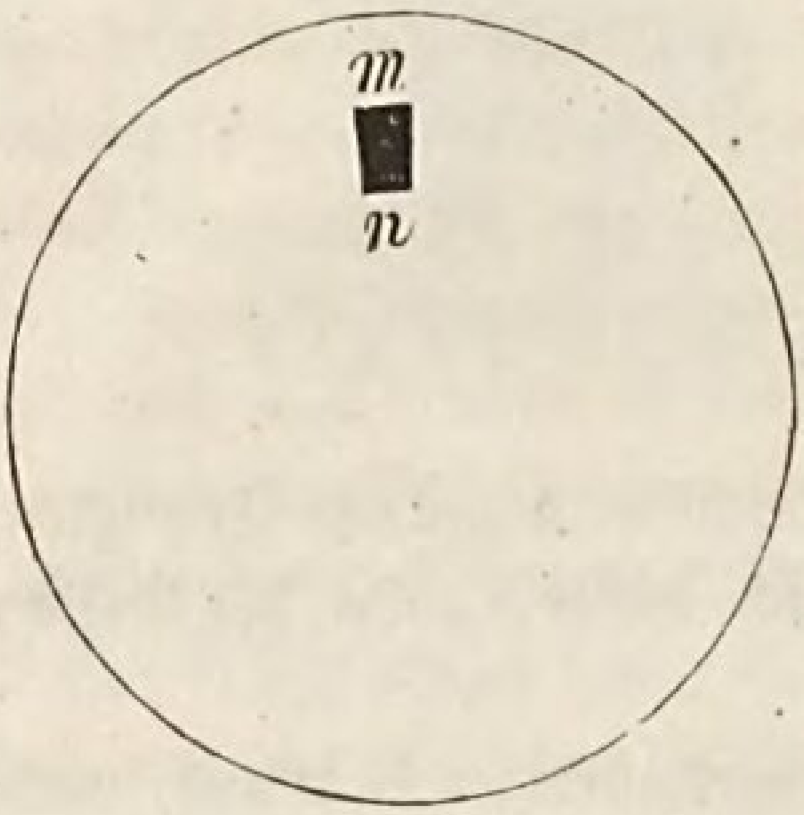
Wenn eine Scheibe, welche in gleichgroße, abwechſelnd weiße und ſchwarze Sectoren getheilt iſt, wie Fig. 79, ſo wird man bei raſcher Rotation derſelben die einzelnen Sectoren nicht unterſcheiden können, wenn die Scheibe durch eine conſtante Lichtquelle beleuchtet iſt; wird aber außerdem die Scheibe momentan durch einen elektriſchen Funken erleuchtet, ſo werden die Sectoren der rotirenden Scheibe wieder ſichtbar, und zwar um ſo mehr, je heller

der elektriſche Funken iſt. Schwächt man aber die Erleuchtung durch den elektriſchen Funken allmälig, während die Erleuchtung durch die beſtändige Lichtquelle ſtets dieſelbe bleibt, ſo wird man zu einem Punkt kommen, wo die Sectoren eben aufhören unterſcheidbar zu ſeyn, und in dieſem Falle iſt die Stärke der Erleuchtung durch den elektriſchen Funken ein beſtimmter Bruchtheil der Erleuchtung durch die conſtante Lichtquelle, deſſen Größe von der Individualität des betrachtenden Auges abhängt.

Sehen wir zunächſt, auf welche Weiſe dieſe Gränze die Unterſcheidbarkeit ausgemittelt wurde.

Auf einer weißen Scheibe, Fig. 80, ſey ein Stück eines Sectors geſchwärzt; wird die Scheibe raſch um ihren Mittelpunkt gedreht, ſo wird das geſchwärzte Stück einen Ring bilden, welcher etwas dunkler von dem weißen Grunde der Scheibe abſticht; dieſer Ring wird nun um ſo blaſſer erſcheinen, je ſchmäler das ſchwarze Sectorenſtück iſt, und wenn man den Verſuch mit einer ganzen Reihe ſolcher Scheiben anſtellt, von denen jede folgende ein etwas ſchmäleres ſchwarzes Sectorenſtück $m\,n$ hat, ſo wird man endlich zu einer ſolchen kommen, bei welcher der dunkle Ring eben aufhört, unterſcheidbar zu ſeyn.

Fig. 80.



Nehmen wir an, dies ſey der Fall, wenn die Breite des Sectorenſtücks $^1/_{100}$ vom ganzen Kreisumfang beträgt, ſo iſt klar, daß die Helligkeit des Ringes um $^1/_{100}$ der Helligkeit der Scheibe geringer iſt, als dieſe, das Auge kann alſo in dieſem Fall eine Erleuchungsdifferenz von $^1/_{100}$ nicht mehr unterſcheiden.

Maſſon machte ſeine Verſuche mit Scheiben, auf denen die Breite des Sectorenſtücks $^1/_{50}$, $^1/_{60}$, $^1/_{70}$, $^1/_{80}$, $^1/_{90}$, $^1/_{100}$, $^1/_{110}$, $^1/_{120}$ des ganzen Umfangs betrug, und fand mit Hülfe derſelben für ſchwache Augen, daß eine Erleuchtungsdifferenz von $^1/_{50}$ bis $^1/_{70}$ die Gränze des Wahrnehmbaren iſt. Bei gewöhnlichen Augen iſt dieſe Gränze $^1/_{80}$ bis $^1/_{100}$, für ſehr gute Augen $^1/_{100}$ bis $^1/_{120}$.

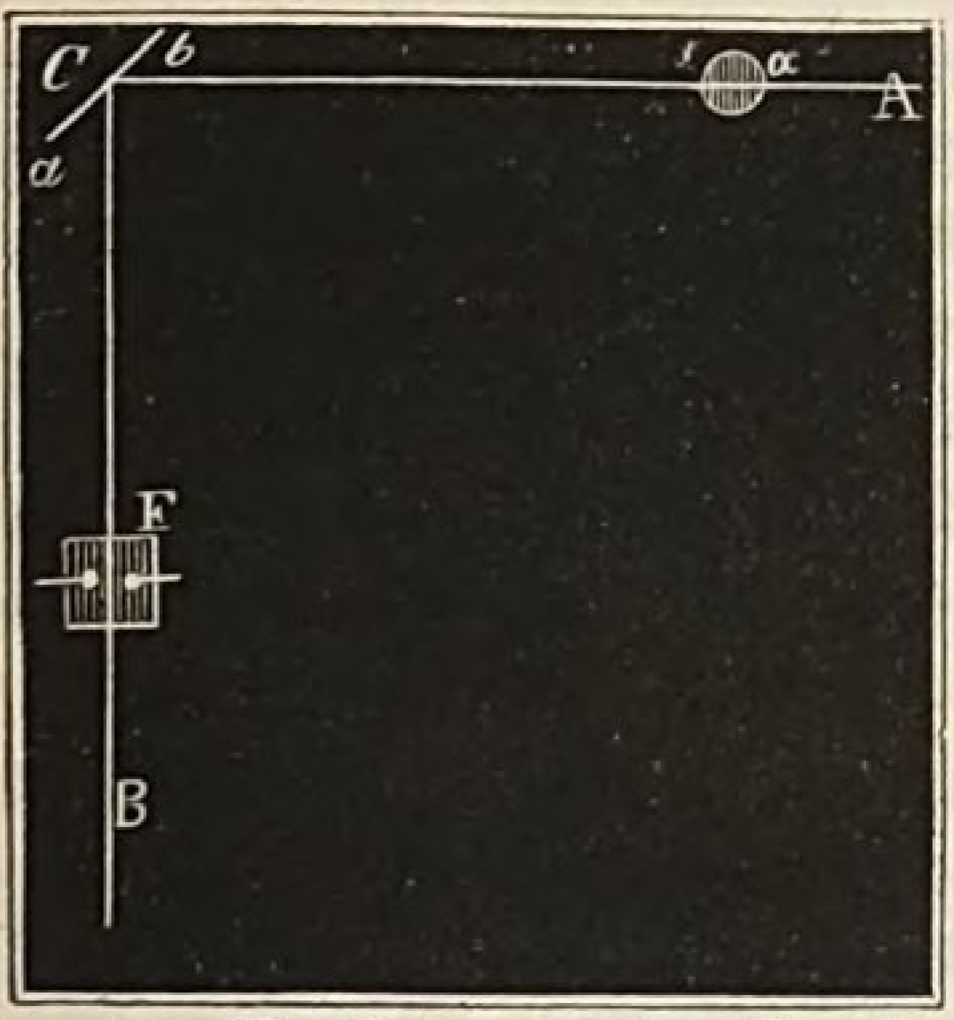
Die Intenſität der Erleuchtung variirend, fand Maſſon, daß die Senſibilität für ein und daſſelbe Individuum ſich nicht ändert, wenn ſie (die Erleuchtung) nur hinreichend iſt, um gewöhnlichen Druck zu leſen.

Die rotirende Scheibe mit farbigem Lichte beleuchtend, fand Maſſon ferner, daß die Gränze der Unterſcheidbarkeit der Beleuchtungsdifferenz von der Farbe unabhängig iſt.

Gehen wir nun zum eigentlichen Gegenſtand der Unterſuchung Maſſon's ſelbſt über. Die Anordnung ſeiner Verſuche war im Weſentlichen folgende.

Eine rotirende Scheibe *ab* Fig. 81 (die Rotation war durch ein Uhrwerk hervorgebracht), welche in der Weiſe in weiße und ſchwarze Sectoren getheilt war, wie Fig. 79 zeigt, war in der Richtung von *AC* her durch das conſtante Licht einer Lampe *L* erleuchtet, welche in der Richtung dieſer Linie verſchiebbar war. Dieſe Lampe befand ſich in einem ſchwarzen Kaſten, ſo daß ſie nur durch eine Röhre ihr Licht auf die rotirende Scheibe werfen konnte. In der Richtung der Linie *BC* war ein Funkenmikrometer *F* verſchiebbar. Die eine Kugel dieſes Funkenmikrometers war mit der oberen, die andere Kugel deſſelben mit der unteren Belegung einer horizontalen Glastafel in leitender Verbindung; der Funken ſchlug allemal zwiſchen den beiden Kugeln des Funkenmikrometers über, ſobald die Ladung der Scheibe eine gewiſſe Gränze erreicht hatte, welche von der Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers abhing.

Fig. 81.



Zunächſt überzeugte ſich Maſſon davon, daß auch für das momentane Licht des elektriſchen Funkens das Geſetz gilt, daß die Stärke der Erleuchtung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung ſteht.

Bei einer beſtimmten Entfernung dieſer Lampe von der Scheibe *a b*, wurde der Funkenmikrometer allmälig von der Scheibe entfernt, bis beim Ueberſchlagen des Funkens die Sectoren der rotirenden Scheibe eben nicht mehr unterſcheidbar waren, und dann die Entfernung des Funkens von der Scheibe beſtimmt. Nun wurde die Lampe weiter fortgerückt, und derſelbe Verſuch mit unveränderter Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers wiederholt. Die folgende Tabelle giebt die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe. Z bedeutet die Entfernung der Lampe, Y die entſprechende Entfernung des Funkenmikrometers von der Mitte der Scheibe *a b*.

Z	Y	$\frac{Z}{Y}$
540^{mm}	407^{mm}	1,32
640	489	1,30
740	569	1,30
840	648	1,29
940	737	1,28
1040	826	1,25
		Mittel 1,29.

Da Z und Y ſtets in gleichem (wenigſtens ſehr nahe gleichem) Verhältniß wachſen, ſo iſt klar, daß mit wachſender Entfernung die Erleuchtung für beide Lichtquellen nach demſelben Geſetze abnimmt, daß alſo die Erleuchtung durch einen elektriſchen Funken ebenfalls dem Quadrat der Entfernung von demſelben umgekehrt proportional iſt.

Daſſelbe Reſultat gaben mehrere andere Verſuchsreihen, welche Maſſon ebenfalls in Tabellen zuſammengeſtellt hat; hier wie im Folgenden mag es genügen, zur Begründung eines jeden Geſetzes nur eine der vielen tabellariſch zuſammengeſtellten Verſuchsreihen anzuführen.

Die Werthe von Y, wie ſie in den Tabellen angeführt ſind, ſind ſtets das Mittel aus zwei Verſuchen. Nachdem einmal die Entfernung Y des Funkenmikrometers von der rotirenden Scheibe ermittelt worden war, bei welcher eben die Sectoren nicht mehr unterſchieden werden können, wurde der Funkenmikrometer der Scheibe wieder bedeutend genähert, und dann abermals bis zum Verſchwinden der Sectoren entfernt. Die beiden ſo ermittelten Werthe von Y differiren in den verſchiedenen Verſuchsreihen höchſtens um ein Centimeter, ein Beweis für die Schärfe, welche dieſe Beobachtungsmethode zuläßt.

90 **Variation der Lichtſtärke des Funkens bei veränderter Schlagweite.** Ueber dieſen Punkt ſtellte Maſſon ebenfalls mehrere Verſuchsreihen an; die folgende Tabelle enthält die Reſultate einer derſelben.

X	Y	$\frac{Y}{X}$
$2{,}5^{mm}$	318^{mm}	127
3,5	447	127
4,5	572	127
5,5	697	126
6,5	830	127
7,5	957	127
	Mittel	127.

X bezeichnet hier die Schlagweite, Y die entſprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe, bei welcher aber die Sectoren derſelben nicht mehr unterſchieden werden können, vorausgeſetzt, daß die conſtante Beleuchtung der rotirenden Scheibe von *A C* her während der ganzen Verſuchsreihe unverändert bleibt.

Aus der obigen Tabelle überſieht man leicht, daß die Schlagweite und die entſprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe ſtets in gleichem Verhältniß geändert werden müſſen, wenn die Beleuchtung der Scheibe dieſelbe bleiben ſoll. Alſo bei doppelter und dreifacher Schlagweite muß der Funken 2 mal, 3 mal ſo weit von der Scheibe entfernt werden, wenn ihre Erleuchtung durch die Funken ungeändert bleiben ſoll.

Durch Verdoppelung der Entfernung wird die Intenſität der Erleuchtung 4 mal ſchwächer; ſie bleibt jedoch ungeändert, wenn auch die Schlagweite verdoppelt wird, folglich muß bei doppelter Schlagweite die Lichtſtärke des Funkens 4 mal größer ſeyn. Für n fache Entfernung iſt die Erleuchtung durch den elektriſchen Funken n^2 mal ſchwächer; ſie bleibt aber ungeändert, wenn auch die Schlagweite n mal größer gemacht wird, es muß alſo bei n facher Schlagweite die Lichtſtärke des Funkens n^2 mal größer ſeyn, oder in Worten:

Die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens iſt dem Quadrat der Schlagweite proportional.

Einfluß der Größe und Form der Condenſatorfläche. Die Ge- 91
ſtalt des Condenſators (d. h. der auf beiden Seiten mit Metallbelegungen verſehenen Glastafeln, deren Entladungsſchlag durch den Funkenmikrometer hindurchgeht) hat keinen Einfluß auf die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens, wenn nur die Flächenausdehnung der Belegung dieſelbe bleibt. Bedeutenden Einfluß übt dagegen die Größe der Condenſatorplatten aus.

Bei unveränderter Entfernung des conſtanten Lichtes, bei unveränderter Schlagweite und unveränderter Dicke der Glastafel wurde die Oberfläche der Belegungen geändert und jedesmal die entſprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe beobachtet, für welche die Sectoren eben aufhören, bemerklich zu ſeyn. Die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt:

Oberfläche	Verhältniß	Y	Y^2	Verhältniß
□mm		mm	□mm	
22500	1,77	314	98596	1,78
40000		420	176400	
60000	2,66	514	264196	2,67

Die erſte Vertikalreihe enthält die Größe der Oberflächen der Belegung, die zweite giebt das Verhältniß der erſten und zweiten und dann das Verhältniß der erſten zur dritten der beſagten Oberflächen an. Die dritte Reihe giebt die entſprechenden Y, die vierte die Quadrate dieſer Entfernungen an, die letzte Vertikalreihe endlich enthält das Verhältniß des erſten Y^2 zum zweiten, und des erſten zum dritten.

Aus der Vergleichung der zweiten und fünften Vertikalreihe ergiebt ſich nun ganz einfach, daß

$$\frac{F}{Y^2} = n \;.\;.\;.\;.\; 1)$$

d. h., daß der Flächeninhalt F der Belegung des Condenſators zu dem Quadrat der Entfernung Y in einem conſtanten Verhältniß ſtehen muß,

wenn die Erleuchtung der Scheibe ab durch den elektriſchen Funken ſtets gleich groß bleiben ſoll.

Nun iſt aber bei gleichbleibender Erleuchtung der Scheibe

$$J = c Y^2,$$

wenn J die Lichtintenſität des Funkens und n einen conſtanten Factor bezeichnet, oder auch

$$\frac{J}{Y^2} = c \ldots 2).$$

Durch Combination der Gleichungen 1) und 2) ergiebt ſich aber

$$J = \frac{N}{C} F.$$

oder in Worten: es iſt die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens dem Flächeninhalte der Belegungen proportional.

92 **Verhältniß zwiſchen der Intenſität des elektriſchen Funkens und der Dicke des Condenſators.** Bei gleicher Oberfläche der Belegungen wurde die Dicke der Glastafel geändert; und für jede derſelben die Entfernung Y ermittelt, für welche eben die Sectoren aufhören, bemerklich zu ſeyn, während natürlich die Beleuchtung durch die Lampe ungeändert blieb. Die folgende Tabelle enthält einige der erhaltenen Reſultate:

	Decke der Glastafel.	Quadratwurz. aus der Dicke.	Y
1	1,31 mm	1,14	1044 mm
2	1,83	1,35	904
3	2,51	1,57	775

Nun iſt $\frac{135}{114} = 1,18$ und $\frac{1044}{904} = 1,15$, d. h. beide Quotienten ſind ſehr nahe gleich oder $\frac{\sqrt{d''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y''}$ ferner iſt $\frac{157}{114} = 1,27$ und $\frac{1044}{775} = 1,35$, alſo auch nahezu $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y'''}$ und endlich iſt $\frac{157}{135} = 1,16$ und $\frac{904}{775} = 1,17$, alſo $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d''}} = \frac{Y''}{Y'''}$, oder in Worten: die Werthe von y verhalten ſich nahezu umgekehrt, wie die Quadratwurzeln der entſprechenden Glasdecken, d. h.

$$\sqrt{d} = \frac{n}{Y}$$

oder:

$$d = \frac{p}{Y^2}$$

es iſt aber ferner $J = cy^2$, folglich

$$d \times J = c \cdot p$$

oder

$$J = \frac{cp}{d}$$

d. h. die Intenſität des Funkens iſt der Dicke des Condenſators umgekehrt proportional.

Die übrigen Verſuche, welche Maſſon über dieſe Frage anſtellte, ſtimmen meiſt weniger gut mit der eben entwickelten Beziehung überein. Er ſchreibt dieß dem Umſtande zu, daß er mit ſeinen Mitteln die Glasdicke nicht genau genug habe meſſen können und daß die verſchiedenen Condenſatoren wohl nicht gleiches »Condenſationsvermögen« haben mögen.

Einfluß der Natur der Pole auf den elektriſchen Funken. 93
Maſſon fand, daß die der Funken etwas intenſiver iſt, wenn man unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden denſelben zwiſchen Blei-, Zink- und Zinnkugeln überſchlagen läßt, als wenn die Kugeln (natürlich bei gleicher Größe) von Kupfer, Meſſing oder Eiſen ſind. Maſſon meint, daß dieß von der ungleichen Feſtigkeit der Metalle abhänge. Bei allen Verſuchen nämlich zeigen ſich Spuren einer Ueberführung des Metalls von einem Pol zum andern; da nun z. B. das Blei weniger feſt iſt als das Kupfer, ſo wird bei gleicher Spannung der Elektricität mehr Blei als Kupfer übergeführt werden, der Schließungsbogen befindet ſich dadurch unter denſelben Umſtänden, als ob man plötzlich ſeine Leitungsfähigkeit vermehrt hätte, das Licht muß alſo lebhafter werden.

Für dieſe Anſicht ſpricht der Umſtand, daß die Intenſität des Funkens ſehr bedeutend vermehrt wird, wenn man polirte Meſſingkugeln mit ſolchen vertauſcht, welche auf der Oberfläche amalgamirt ſind, wo offenbar die Ueberführung ſehr erleichtert iſt.

Der Funken zwiſchen Bunſen'ſchen Kohlen iſt ſehr weiß in der Mitte, röthlich am Rande und hat etwas flammenartiges.

Die Natur des elektriſchen Lichtes. Ueber die Natur des elektri- 94
ſchen Funkens hat man zwei Hypotheſen; die erſte betrachtet ihn als eine Bewegung, welche dem Lichtäther durch den elektriſchen Funken mitgetheilt wird, nach der zweiten Hypotheſe entſteht das elektriſche Licht durch ponderabele Theilchen, welche glühend durch die Elektricität übergeriſſen werden.

Maſſon ſpricht ſich mehr für die erſte Hypotheſe aus, wofür auch ſeine Verſuche ſprechen, da die Intenſität des Funkens keineswegs von der Schmelzbarkeit und Oxydirbarkeit der Kugeln abhängt, wohl aber von der Feſtigkeit. Würden wegen der geringeren Feſtigkeit des Metalls mehr Theilchen übergeführt, ſo wird die Leitungsfähigkeit des Schließungsbogens vermehrt, die-

ſelbe Elektricitätsmenge alſo in kürzerer Zeit entladen, wodurch ein lebhafteres Licht erzeugt wird.

Die ſo eben beſprochenen Geſetze der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens ſind in der folgenden Formel ausgedrückt

$$J = H\ \frac{X^2 . s}{Y^2 e} \ldots\ldots 1)$$

wenn J die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens,
X die Schlagweite,
s die Oberfläche des Condenſators,
Y die Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe des Photometers,
e die Dicke des Condenſators, und endlich
H einen conſtanten Factor bezeichnet, welcher von Elementen abhängt, die bis jetzt noch nicht ermittelt ſind

Setzt man in der Gleichung 1 $X = p\ \frac{q}{s}$, was erlaubt iſt, da ja Rieß gezeigt hat, daß die Schlagweite der elektriſchen Dichtigkeit proportional iſt (Seite 96), ſo kommt

$$J = \frac{m}{y^2} \cdot \frac{q^2}{s^2} s \ldots\ldots 2)$$

wenn man $\frac{Hp^2}{e} = m$, d. h. gleich einem Conſtanten ſetzt, was erlaubt iſt, ſo lange man die Dicke e des Condenſators nicht ändert.

Die Intenſität des elektriſchen Lichtes iſt $\frac{q^2}{s^2}$ alſo dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit, oder was daſſelbe iſt, der Tenſion der Elektricität und der Oberfläche s des Condenſators proportional.

Die Gleichung 1) läßt ſich auch ſo ſchreiben

$$J = \frac{H}{y^2 e} X s X.$$

Setzt man nun für das letztere X ſeinen Werth $p\ \frac{q}{s}$, ſo kommt

$$J = \frac{pH}{y^2 e} Xq \ldots 3)$$

oder in Worten: die Lichtintenſität des Funkens iſt der Schlagweite und der elektriſchen Quantität proportional.

Nach der Gleichung 2) iſt auch

$$J = \frac{m}{y^2} \frac{q^2}{s}$$

oder

$$J = P \frac{q^2}{s}.$$

Wie aber Rieß gezeigt hat, iſt

$$W = Q\,\frac{q^2}{s}$$

die Wärmemenge, welche in einem Drahte frei wird, wenn man durch denſelben die auf der Oberfläche s angeſammelte Elektricitätsmenge q entladet.

Wenn alſo ein Entladungsſchlag der elektriſchen Batterie an einer **Unterbrechung** der Schließung einen Funken erzeugt, ſo iſt die Lichtſtärke deſſelben proportional der Wärme, welche derſelbe Entladungsſchlag in einem Drahtſtück hervorbringt, welches einen Theil des Schließungsbogens ausmacht.

Am Schluſſe ſeiner Abhandlung ſchlägt Maſſon den unter beſtimmten Bedingungen erzeugten Funken als photometriſche Einheit vor, wodurch es möglich wird, die Intenſität der verſchiedenſten conſtanten Lichtquellen auf ein gemeinſchaftliches Maaß zurückzuführen.

Fünfter Abſchnitt.

Der elektriſche Geruch.

95 Wenn man ſich in der Nähe einer kräftigen Elektriſirmaſchine befindet, ſo beobachtet man, namentlich wenn die Elektricität aus Spitzen ausſtrömt, oder wenn man eine Reihe von Funken aus dem Conductor überſchlagen läßt, einen ganz eigenthümlichen Geruch, den wir der Kürze halber den *elektriſchen Geruch* oder *Ozongeruch* nennen wollen. Dieſer elektriſche Geruch iſt höchſt wahrſcheinlich auch derjenige, den man bei Blitzſchlägen beobachtet, und welcher von Leuten, die denſelben nicht gehörig zu charakteriſiren wiſſen, als Schwefelgeruch bezeichnet wird. *Schönbein* beobachtete in der Nähe der Stelle, wo ein Blitz eingeſchlagen hatte, noch einige Zeit nachher einen entſchiedenen *Ozongeruch*.

Bis in die neuere Zeit war man über das Weſen dieſes Geruches vollkommen im Dunkeln. Einige Phyſiker nahmen an, daß dieſer elektriſche Geruch in einer eigenthümlichen Affection der Geruchsorgane durch die Elektricität beruhe, eine Erklärung, die neben dem, daß ſie irrig iſt, auch den großen Nachtheil hatte, daß ſie eine weitere Unterſuchung und Discuſſion abgeſchnitten hat.

Andere ſtellten die Hypotheſe auf, der elektriſche Geruch rühre von feinen metalliſchen Theilchen her, welche durch die ausſtrömende Elektricität mitgeriſſen würden. Aber auch dieſe Anſicht iſt ganz unzuläſſig, weil ſich mit der Natur der Ausſtrömungsſpitze die Natur des Geruches nicht im mindeſten ändert.

Schönbein hat das große Verdienſt, dieſe Frage gleichſam wieder in das Fahrwaſſer naturwiſſenſchaftlicher Thätigkeit gebracht zu haben. Er hat nachgewieſen, daß der elektriſche Geruch einem eigenthümlichen durch die elektriſche Ausſtrömung erzeugten Gaſe zukomme, welches er *Ozon* nennt. Mit dem größten Eifer hat er Jahrelang die Eigenſchaften dieſes Ozons erforſcht, und wenn es bis jetzt auch noch nicht gelungen iſt, das Ozon iſolirt darzuſtellen, ſo ſind doch bereits viele wichtige chemiſche

und phyſikaliſche Beziehungen deſſelben unzweifelhaft nachgewieſen, und die fernere Unterſuchung dieſes Gegenſtandes verſpricht die wichtigſten Entdeckungen auf dem Felde der Chemie.

Die erſte Abhandlung Schönbein's über dieſen Gegenſtand findet ſich in den Denkſchriften der Münchener Akademie.

Dieſe Abhandlung iſt auch in Poggendorff's Annalen, und zwar im L. Bande pag. 616 abgedruckt.

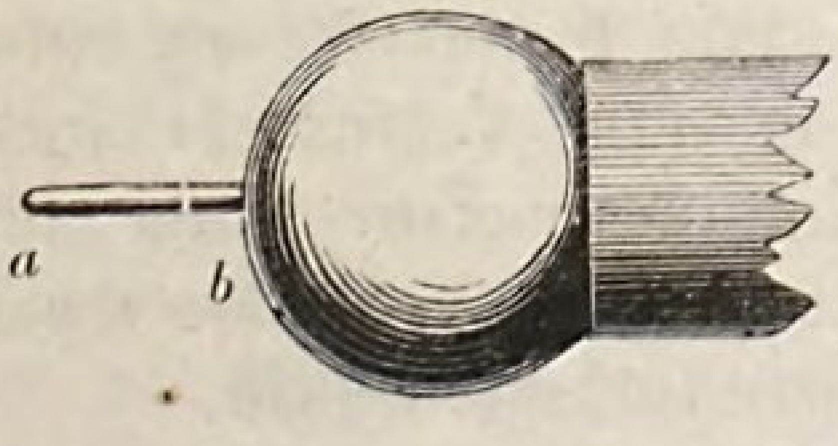
Ueber die Erzeugung des Ozons auf chemiſchem Wege veröffentlichte Schönbein im Jahre 1844 eine kleine Schrift unter eben dieſem Titel, welche in der Schweighäuſer'ſchen Buchhandlung in Baſel erſchienen iſt.

Die wichtigſten Abhandlungen über unſern Gegenſtand, welche hierauf folgten, befinden ſich in Poggendorff's Annalen; man findet ſie im Namenregiſter zuſammengeſtellt, welches dem LXXV. Bande dieſer Annalen angehängt iſt.

In dieſen Schriften läßt ſich der hiſtoriſche Gang der Schönbein'ſchen Entdeckungen verfolgen; der größeren Ueberſichtlichkeit wegen will ich aber dieſen hiſtoriſchen Gang verlaſſen, ich will nicht über den Inhalt der einzelnen Abhandlungen referiren, ſondern ich will die weſentlichſten Verſuche, welche die Natur und die wichtigſten Beziehungen des Ozons kennen lehren, in der Weiſe beſchreiben, wie Profeſſor Schönbein im Frühjahre 1849 mir dieſelben zu zeigen die Güte hatte, und ſeine Anſichten über die Natur des Ozons, die früheren Phaſen übergehend, in der Weiſe vortragen, wie ſie ſich jetzt in Folge vieljähriger Unterſuchungen geſtaltet haben.

Verſieht man den Conductor einer Elektriſirmaſchine mit einem vorne abgerundeten Drahte *ab*, Fig. 82, von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer, ſo wird man, während die Maſchine gedreht wird, in der Nähe des Drahtendes *a* den eigenthümlichen elektriſchen Geruch bemerken. —

Fig 82.



Daß dieſer Geruch nicht bloß einer ſubjectiven Affection der Geruchsorgane zuzuſchreiben iſt, ſondern daß er von einem eigenthümlichen Gaſe herrührt, ergiebt ſich daraus, daß dieſes riechende Princip eine Reihe von chemiſchen und phyſikaliſchen Wirkungen hervorbringt, welche mit den chemiſchen Reactionen und phyſikaliſchen Beziehungen anderer Gaſe die größte Aehnlichkeit haben. Ja es iſt Schönbein gelungen, dieſes riechende Princip, das Ozon, auf rein chemiſchem Wege darzuſtellen und alle Reactionen

mit demſelben hervorzubringen, wie man ſie an Ausſtrömungsſpitzen beobachtet.

Hält man der Ausſtrömungsſpitze ein Stückchen Papier in der Entfernung von $1/2$ bis 1 Zoll entgegen, welches mit Jodkaliumkleiſter beſtrichen iſt, ſo wird dieſer Kleiſter alsbald gebläut.

Um den Jodkaliumkleiſter zu bereiten, werden 2 Theelöffel voll Stärke, welcher man ein Körnchen Jodkalium zuſetzt, mit dem 10fachen Volumen Waſſer zu Kleiſter gekocht.

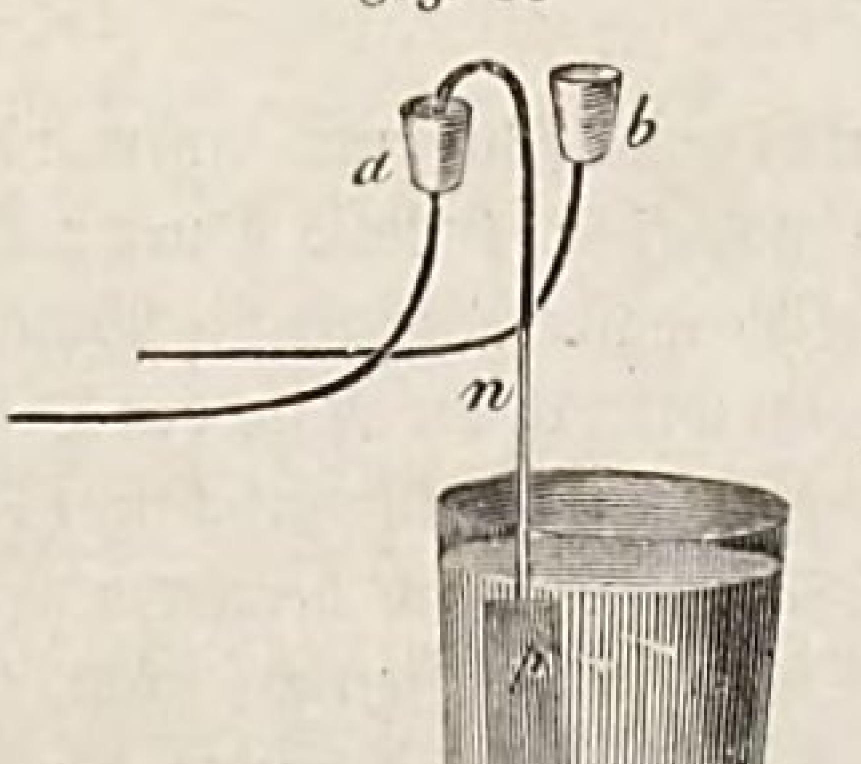
Das Ozon wirkt alſo auf den Jodkaliumkleiſter gerade ſo wie das Chlor, es zerſetzt das Jodkalium und das freiwerdende Jod färbt die Stärke blau.

Die Erſcheinung, nämlich das Bläuen des Jodkaliumkleiſters, findet ganz in derſelben Weiſe ſtatt, mag nun aus der Spitze poſitive oder negative Elektricität ausſtrömen; ebenſo iſt es vollkommen gleichgültig, aus welcher Subſtanz die Spitze gefertigt iſt, wenn nur eine Ausſtrömung der Elektricität aus derſelben ſtattfindet, wodurch die Anſicht einiger früheren Phyſiker widerlegt wird, als ob der elektriſche Geruch von Metalltheilchen herrühre, welche von der ausſtrömenden Elektricität mit fortgeführt worden.

Hält man eine Platin- oder Goldplatte der Ausſtrömungsſpitze entgegen, während die Maſchine gedreht wird, ſo wird dieſer Platte eine negativ-galvaniſche Polariſation mitgetheilt, die man auf folgende Weiſe darthun kann.

Die beiden Queckſilbernäpfchen *a* und *b*, Fig. 83, ſeyen mit den Drahtenden eines Multiplicators in Verbindung. In das Queckſilbernäpfchen *a* iſt ein Kupferdraht eingetaucht, an deſſen anderem Ende eine Platinplatte *p* befeſtigt iſt (die Platinplatte iſt zunächſt mit Gold an einen Platindraht und dieſer bei *n* an einen Kupferdraht gelöthet). Dieſe Platinplatte hängt in ein Glasgefäß herab, welches etwas geſäuertes Waſſer enthält.

Fig. 83



Nachdem man nun eine ganz ähnlich vorgerichtete Platinplatte eine Zeit lang der aus der Spitze ſtrömenden Elektricität ausgeſetzt hat, wird ſie ebenfalls in das Waſſer des Glasgefäßes eingetaucht; ſobald nun der Kupferdraht der zweiten Platinplatte in das Queckſilbernäpfchen *b* eingeſenkt wird, entſteht ein bedeutender Ausſchlag der Galvanometernadel, und zwar nach einer Rich-

tung, welche anzeigt, daß die dem Ozon ausgeſetzt geweſene Platinplatte ſich negativ gegen die andere verhält, d. h. der Ausſchlag erfolgt nach derſelben Seite, als ob in *a* ein Zinkdraht, in *b* ein Kupferdraht eingeſenkt geweſen wäre und man dieſe Drähte dann in die Flüſſigkeit des Glasgefäßes eingetaucht hätte. Dieſer Strom iſt jedoch nur ein vorübergehender.

Was die Polariſationserſcheinungen überhaupt betrifft, ſo werden wir dieſelben ſpäter noch beſonders betrachten, hier mußte dieſelbe nur als eine der Wirkungen mit aufgeführt werden, welche das Ausſtrömen der Elektricität aus Spitzen begleiten.

Alle dieſe Reactionen verſchwinden, wenn Schwefelwaſſerſtoffgas, Ammoniakgas, ölbildendes Gas u. ſ. w. in der Luft des Zimmers verbreitet iſt.

Wenn man die Ausſtrömungsſpitze durch eine Weingeiſtlampe bis zum Glühen erhitzt und gleich nach dem Entfernen der Lampe die Maſchine in Thätigkeit ſetzt, ſo ſind nun alle die bisher beſchriebenen Erſcheinungen, welche das Ausſtrömen der Elektricität begleiten, verſchwunden, d. h. der elektriſche Geruch wird nicht mehr wahrgenommen; Jodkaliumkleiſter, welchen man der Ausſtrömungsſpitze entgegenhält, wird nicht gebläut, Platin oder Goldplatten werden nicht galvaniſch polariſirt. Alle dieſe Erſcheinungen treten aber allmälig wieder auf, wenn die Spitze mehr und mehr erkaltet.

Um den Verſuch in Beziehung auf den Geruch rein zu haben, muß man ihn mit Drahtſtücken von edlen Metallen anſtellen, weil die leichten oxydirbaren Metalle beim Erhitzen ſelbſt einen eigenthümlichen Geruch verbreiten; da jedoch ganz dünne Drähte zu dieſem Verſuch nicht geeignet ſind, dickere aber nicht immer erhalten werden können, ſo kann man einen dünneren Platindraht anwenden, an deſſen Ende ein Kügelchen von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer angeſchmolzen iſt.

Elektriſcher Geruch bei der elektriſchen Zerſetzung des Waſſers. 96
Der elektriſche Geruch tritt nicht allein bei der Ausſtrömung der Elektricität aus Spitzen auf, auch bei der elektrolytiſchen Zerſetzung des Waſſers begegnen wir demſelben wieder und finden ihn von denſelben Reactionen und Wirkungen begleitet, die wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben.

Bei genauerer Unterſuchung ergiebt ſich, daß der elektriſche Geruch an dem poſitiven Pol, alſo an demjenigen auftritt, an welchem Sauerſtoffgas entbunden wird, denn wenn man die aus der Zerſetzung des Waſſers reſultirenden Gaſe geſondert auffängt, ſo bemerkt man den fraglichen Geruch nur in demjenigen Gefäß, welches den Sauerſtoff enthält, keine Spur aber in demjenigen, welches den Waſſerſtoff einſchließt.

Auch die gemengt aufgefangenen Gaſe beſitzen den elektriſchen Geruch.

Hängt man in das mit dem elektriſchen Geruch behaftete, durch die Elektrolyſe erhaltenen Sauerſtoffgas oder Knallgas ein mit Jodkaliumkleiſter beſtrichenes Papier, ſo wird daſſelbe gebläuet. Eine in dieſes Gas einige Zeit lang eingetauchte Platinplatte zeigt dieſelbe elektronegative Polariſation, als ob man ſie dem elektriſchen Büſchel ausgeſetzt hätte

Chemiſch reines Sauerſtoffgas bringt keinen dieſer Effecte hervor, es hat nicht den Geruch, bläut nicht den Jodkaliumkleiſter und iſt nicht im Stande eine Platinplatte negativ zu galvaniſiren.

Das durch elektrolytiſche Zerſetzung erhaltene Gas bringt alſo in allen dieſen Fällen dieſelbe Wirkung hervor wie die Luft, welche von einer ſtark elektriſirten Spitze abſtrömt.

97 **Erzeugung des Ozons auf chemiſchem Wege.** Der ſogenannte elektriſche Geruch läßt ſich auch ohne alle Elektricität auf rein chemiſchem Wege darſtellen. Ein Stück Phosphor mit Löſchpapier trocken abgerieben, ſo daß es eine reine Oberfläche hat, verbreitet einen eigenthümlichen, knoblauchartigen Geruch. Bringt man ein ſolches Stück Phosphor in eine mit Luft gefüllte Flaſche, ſo wird ſich in der Kälte der Phosphordampf bald in der ganzen Flaſche verbreiten. Hängt man nur kurze Zeit eine Platinplatte in die Flaſche hinein, ſo wird dieſelbe bald poſitiv polariſirt.

Die Polariſation der Platinplatte iſt wohl dem Phosphordampf zuzuſchreiben, welcher ſich in der Flaſche verbreitet, der Geruch aber höchſt wahrſcheinlich der phosphorigen Säure, welche ſich durch die theilweiſe Oxydation des Phosphordampfes bildet.

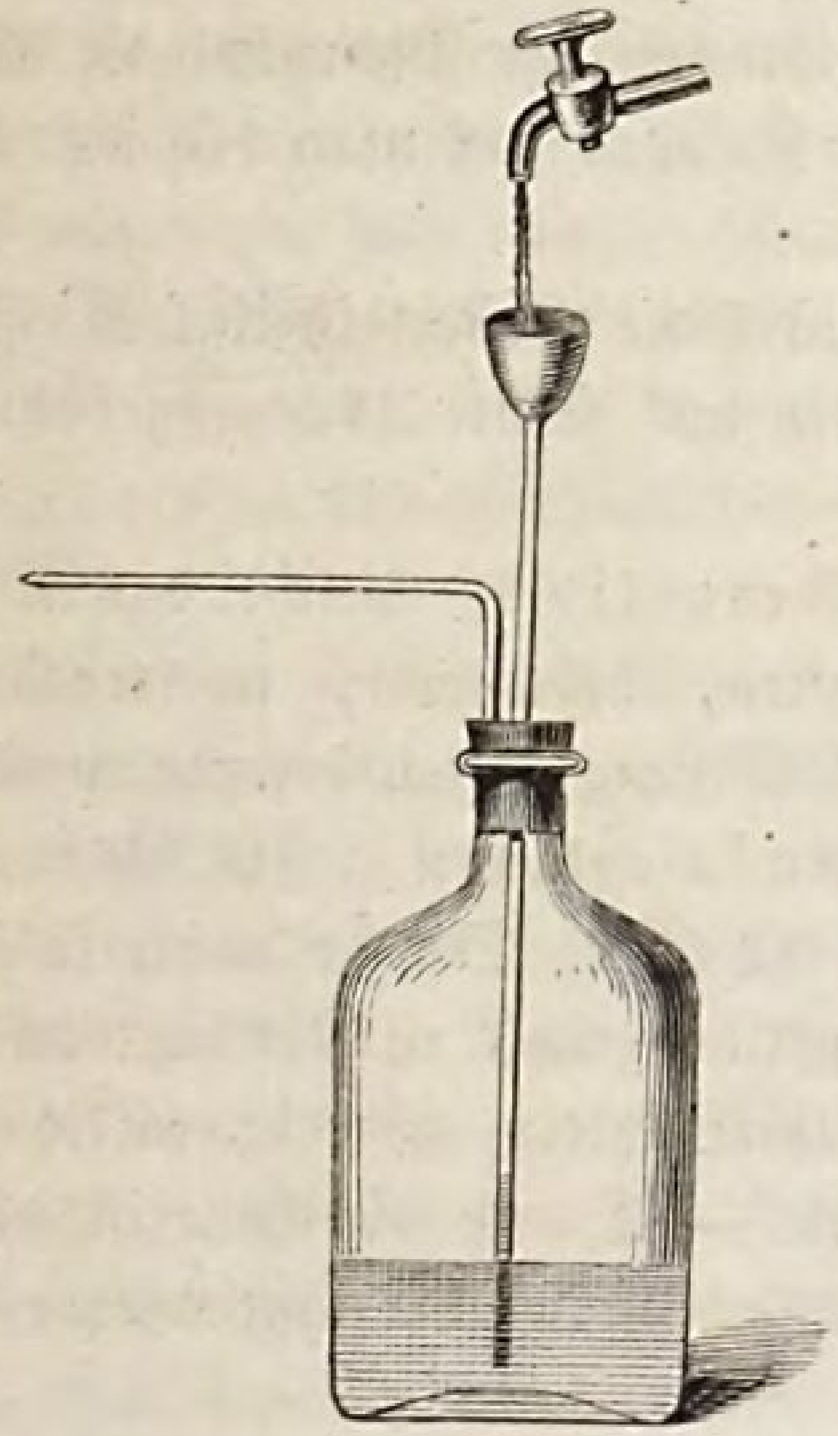
Iſt nun etwas Feuchtigkeit in der Flaſche (am beſten ſo viel Waſſer, daß das Phosphorſtück halb aus demſelben hervorragt), ſo wird der Phosphorgeruch ſchwächer und ſchwächer, er verſchwindet endlich ganz und an ſeine Stelle tritt alsdann ein entſchiedener Ozongeruch. Bei etwas höherer Temperatur tritt der Ozongeruch ſehr bald auf.

Dieſer Ozongeruch iſt von dem auf elektriſchem Wege erzeugten durchaus nicht zu unterſcheiden und er iſt von allen den Reactionen und Wirkungen begleitet, welche das Agens des elektriſchen Geruches charakteriſiren. — Hängt man ein Papier mit Jodkaliumkleiſter in die Flaſche hinein, ſo wird es ſogleich gebläut, eine in die ozonhaltige Luft getauchte Platinplatte wird elektronegativ polariſirt.

Mit dem auf chemiſchem Wege dargeſtellten Ozon kann man die Reactionen faſt ganz in derſelben Form hervorbringen, wie mit einer Elektricität ausſtrömenden Spitze. Zu dieſem Zweck wird eine mehrere Liter haltende

mit ozonhaltiger Luft gefüllte Flaſche (Fig. 84) durch einen Kork verſchloſſen, welche doppelt durchbohrt iſt. Durch die eine Oeffnung geht eine Röhre beinahe bis auf den Boden der Flaſche, welche oben in einen Trichter endigt, durch die andere Oeffnung geht eine Röhre, welche nicht weiter in die Flaſche herabgeht, die aber bald über den Kork horizontal eingebogen iſt und in eine Spitze mit ziemlich kleiner Oeffnug endigt. Läßt man nun in den Trichter in paſſendem Maaße Waſſer einſtrömen, ſo wird die ozonhaltige Luft durch die Spitze der andern Röhre ausgetrieben. Dieſe Spitze verhält ſich jetzt vollkommen gerade ſo wie eine Metallſpitze, aus welcher ein elektriſcher Büſchel ausſtrömt. — Wenn man die Glasſpitze der Naſe nähert, ſo beobachtet man den *elektriſchen Geruch*, hält man ihr ein Papier mit Jodkaliumkleiſter gegenüber, ſo wird es *gebläut*, hält man eine Platinplatte vor die feine Oeffnung, ſo wird dieſelbe *elektronegativ* polariſirt.

Fig. 84.



Wir haben oben geſehen, daß alle Wirkungen des Ozons verſchwinden, wenn die Büſchel gebende Spitze ſtark erhitzt iſt; ebenſo verſchwinden alle Reactionen des Ozons, ſobald man den horizontalen Theil des Ausſtrömungsrohres durch eine Weingeiſtlampe ſtark erhitzt hat. Die Luft, die durch die heiße Röhre ſtrömend zur feinen Oeffnung hervortritt, hat keinen Geruch mehr, ſie bläut den Jodkaliumkleiſter nicht und iſt nicht im Stande eine Platinplatte elektriſch zu polariſiren. — Alle dieſe Wirkungen treten aber nach Erkaltung der Röhre wieder auf.

Chemiſche Natur des Ozons. *Schönbein*, der Entdecker des 98
Ozons, hat mit unermüdlichem Fleiße Jahre lang das Verhalten dieſes merkwürdigen Körpers beobachtet und unterſucht, und gefunden, daß er in jeder Beziehung mit den Hyperoxyden die größte Aehnlichkeit hat; er iſt dadurch endlich zu der Anſicht gelangt, daß das *Ozon* nichts anderes ſey als ein *gasförmiges Waſſerſtoffſuperoxyd*.

Das Ozon bildet ſich demnach durch eine fernere Oxydation des Waſſerdampfes der Luft. Es erklärt ſich dadurch, warum Waſſer oder viel-

mehr Waſſerdampf zur Ozonbildung durchaus nothwendig iſt. In vollkommen trockner Luft kann man mittelſt Phosphor kein Ozon darſtellen.

Die Elektricität disponirt den Waſſerdampf der Atmoſphäre, ſich weiter zu oxydiren und Ozon zu bilden; eben ſo bewirkt der Phosphor die Verbindung des Waſſerdampfes mit Sauerſtoff, ohne daß man bis jetzt das »Wie?« beantworten könnte.

Durch die Hitze wird das Ozon wieder in ſeine Beſtandtheile, Waſſerdampf und Sauerſtoff, zerlegt, wie uns die auf Seite 215 angeführten Verſuche lehren.

Es wird zwar von de la Rive und Berzelius, welche das Ozon als einen modificirten Sauerſtoff betrachten, behauptet, in trocknem Sauerſtoffgas könne durch elektriſche Ausſtrömung Ozon erzeugt werden, doch iſt dies allen Analogieen Schönbein's entgegen. Als ſchlagendſten Beweis für den Waſſergehalt des Ozons führt Schönbein folgenden Verſuch an: wenn man ozonhaltige Luft möglichſt vollſtändig trocknet, alsdann dieſelbe erhitzt, ſo giebt ſie nach dem Erkalten, über hygroſkopiſche Körper ſtreichend, Waſſer an dieſelben ab. — Durch die Hitze iſt nämlich das Ozon wieder zerlegt, alſo der Waſſerdampf gleichſam wieder frei geworden, den es enthielt.

Das Ozon iſt eines der kräftigſten Oxydationsmittel, welche man kennt. Leitet man längere Zeit ozonhaltige Luft über fein zertheiltes metalliſches Silber, ſo wird daſſelbe in Silberſuperoxyd verwandelt. Die Phosphordämpfe werden unter dem Einfluß des Ozons raſch oxydirt und in Phosphorſäure und phosphorichte Säure verwandelt.

Die Thatſache, daß ſich beim Durchſchlagen elektriſcher Funken durch waſſerhaltige atmoſphäriſche Luft Salpeterſäure bildet, iſt bereits im Jahre 1785 von Cavendiſh ermittelt worden. Schönbein hat nun aber nachgewieſen, daß ſich unter dieſen Umſtänden auch ſtets Ozon bildet.

Da mit Hülfe der Funkenelektricität Ozon in feuchtem Sauerſtoffgas erzeugt werden kann, ſo iſt klar, daß die Bildung des Ozons von derjenigen der Salpeterſäure unabhängig iſt. Dahingegen hat es Schönbein im höchſten Grade wahrſcheinlich gemacht, daß die Bildung der Salpeterſäure nicht eine directe Wirkung der Elektricität iſt, ſondern eine ſecundäre, hervorgebracht durch die oxydirende Wirkung des Ozons auf den Stickſtoff der Atmoſphäre.

Die Salpeterſäurebildung durch Elektricität läßt ſich am einfachſten dadurch nachweiſen, daß man der aus einem Drahte ausſtrömenden Elektricität eine Zeit lang ein mit einer Löſung von kohlenſaurem Kali befeuchtetes Papier ausſetzt; das kohlenſaure Kali wird unter dieſen Umſtänden zum Theil in ſalpeterſaures Kali verwandelt.

Auch das vermittelſt Phosphor dargeſtellte Ozon bewirkt eine Salpeterſäurebildung. — Die phosphatige Säure, ein Gemiſch von Phosphorſäure und phosphoriger Säure, welche ſich in einem Ballon bildet, der ein Stückchen Phosphor, etwas Waſſer und atmoſphäriſche Luft enthält, wird vom Waſſer abſorbirt. Färbt man nun dieſes Waſſer mit etwas Indigoſolution, ſo wird dieſe alsbald gebleicht, eine Wirkung, welche weder Phosphorſäure noch phosphorichte Säure für ſich allein hervorbringen. Dieſes Bleichen iſt der Effect einer geringen Quantität Salpeterſäure, welche, unter dem Einfluß des Ozons gebildet, ſich gleichfalls in Waſſer löſt.

Daß man hier wirklich mit Salpeterſäure zu thun hat, ergiebt ſich daraus, daß wenn man das Waſſer mit Kalkmilch ſchüttelt, ſich phosphorſaurer und phosphorichtſaurer Kalk bildet, welche unlöslich ſind, während etwas ſalpeterſaurer Kalk in der Löſung zurückbleibt.

Davy hat die Beobachtung gemacht, daß am poſitiven Pole einer Säule Spuren von Salpeterſäure auftreten, wenn durch luft- oder ſtickſtoffhaltiges Waſſer ein Voltaiſcher Strom geht; auch hier iſt die Bildung der Salpeterſäure eine ſecundäre Wirkung der Elektricität. Zunächſt wird durch den Einfluß des Stromes Ozon gebildet, und dieſes oxydirt dann den Stickſtoff.

Das Leuchten des Phosphors durch die Einwirkung von Ozon 99
bewirkt. Bei niedrigen Temperaturen findet bekanntlich in ozonfreier Luft keine langſame Verbrennung des Phosphors, alſo kein Leuchten deſſelben im Dunkeln ſtatt, welches aber ſogleich auftritt, ſobald Ozon mit dem Phosphor in Berührung kommt. In einer Flaſche, in welcher ſich ozoniſirte Luft befindet, leuchtet der Phosphor auch bei ganz niedriger Temperatur.

Sehr ſchön hat dies Schönbein dadurch nachgewieſen, daß er bei niedriger Temperatur Phosphorſtangen elektriſchen Lichtbüſcheln ausſetzte, welche nach dem Obigen die Bildung von Ozon vermitteln. Die Art, wie er den Verſuch anſtellte, war folgende (P. A. LXVIII. 38.).

Es wurde ein Zoll langes Stück Phosphor von reiner Oberfläche auf ein mit der Erde in leitender Verbindung ſtehendes Brettchen gelegt und das freie Ende eines mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine verbundenen Drahtes bis auf einige Linien dem Phosphor genähert. Bei einer Temperatur von — 2⁰ leuchtete der Phosphor an und für ſich im Dunkeln nicht; ſetzte man aber die Maſchine in Bewegung, ſo daß ein elektriſcher Büſchel von Draht gegen das Phosphorſtück ſpielte, ſo leckte augenblicklich eine leichte Flamme über die ganze Länge des Phosphors hinweg, die in der Regel gleich einem Kometenſchweife noch weit über die Phosphorſtange hinausreicht. Wird die Maſchine nicht mehr gedreht,

ſo verſchwindet auch das Leuchten des Phosphors nach einigen Secunden wieder.

Eine ſehr artige Lichterſcheinung erhielt Schönbein durch folgende Anordnung. Ein Kupferdraht wurde ſpiralförmig um ein Zoll langes Stück reinen Phosphors herumgewunden, ſo daß das eine Ende des Drahtes noch um eine Linie als Spitze über den Phosphor hinausreicht, ungefähr ſo, wie es Fig. 85 darſtellt. Das andere Ende des Drahtes wurde mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine verbunden. Bei einer Temperatur unter 0^{0} leuchtete das Phosphorſtück ſelbſt in der größten Dunkelheit nicht im mindeſten. Drehte man aber die Elektriſirmaſchine, ſo daß ein lebhafter Büſchel am Ende des gewundenen Drahtes erſchien, ſo ſah man aus der Mitte des Büſchels einen leuchtenden Kegel hervorgehen, der je nach den Umſtänden eine Länge von einigen Zollen bis zu einigen Fußen erreichte. Der größte Kegel, den Schönbein erhielt, war $2\frac{1}{2}$ Fuß lang. Mit kräftigen Maſchinen muß man ſolche Kegel von noch viel bedeutenderer Länge erhalten.

Fig. 85.

Es darf wohl ohne Bedenken angenommen werden, daß dieſer Lichtſchweif nichts anderes iſt als in langſamer Verbrennung begriffener Phosphordampf.

Der leuchtende Schweif verſchwindet mit dem elektriſchen Büſchel.

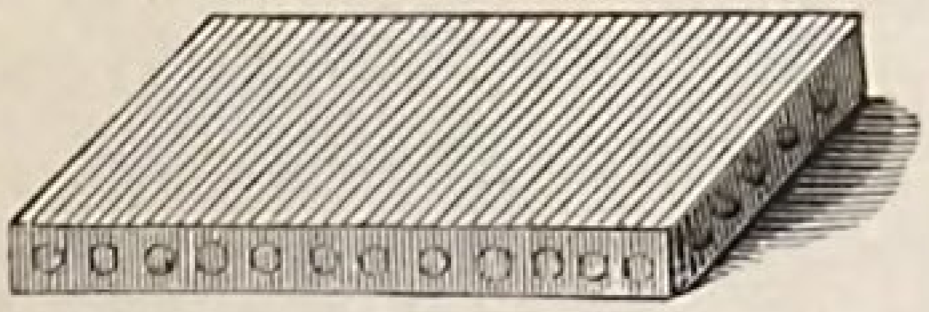
N a ch t r a g.

In Beziehung auf Grüel's Elektriſirmaſchinen, von denen bereits auf Seite 20 die Rede war, iſt aus dem 100ſten Bande von Dingler's polytechniſchem Journal noch Folgendes nachzutragen.

Eine geriebene Glasfläche von circa 2 Quadratfuß gab in Verbindung von nur einem Reibzeuge und einem Conductor von circa $1\frac{3}{4}$ Quadratfuß, mit $1\frac{1}{2}$zölligen Endkugeln verſehen, dem Blitz ähnliche, vielfach gezackte Funken von 8zölliger Schlagweite; die Ausdehnung der Lichtbüſchel ging begreiflich noch über dieſe Entfernung hinaus. — Hiermit in Verhältniß ſtand die raſche Ladung großer Leidner Flaſchen, ebenſo die Wirkung kleinerer Elektriſirmaſchinen von äußerſt anſprechender Form.

Die Verfertigung von Elektrophoren betreffend, welche auf Seite 2 angeführt wurde, mögte Folgendes die zweckmäßigſte und billigſte Conſtruction derſelben ſeyn.

Fig. 86.



Auf ein quadratiſches Brett von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuß Seitenlänge, welches mit Stanniol oder unächtem Silberpapier überzogen iſt, ſpannt man eine oder zwei Lagen ordinären wollenen Tuches und darüber eine einfache oder auch doppelte Lage von Guttapercha-Papier; Tuch und Guttapercha-Papier werden an den Seitenwänden des etwa Zoll hohen Brettes mit kurzen dickköpfigen Nägeln aufgenagelt. Ein ſolches Elektrophor, welches ſehr wirkſam iſt, hat ungefähr das in Fig. 86 dargeſtellte Anſehen.

Schönbein's elektriſches Papier wird auf folgende Weiſe dargeſtellt. Schießbaumwolle wird in Aether aufgelöſt und die klare

Auflöſung über eine beliebige Glasfläche ausgebreitet. Nach gänzlicher Verflüchtigung des Löſungsmittels bleibt eine durchſichtige Haut zurück, welche eben das elektriſche Papier iſt, und welcher man neuerlich den Namen Collodion beigelegt hat. Grüel hat das Collodion zur Darſtellung kleiner Luftballons angewandt.

Galvanismus.

Erſter Abſchnitt.

Streit der chemiſchen Theorie und der Contacttheorie.

Einleitung. Den Bericht über die Fortſchritte und neueren Ent- 100
deckungen im Gebiete des Galvanismus müſſen wir mit der Beſprechung des vielfach unerquicklichen Streites zwiſchen der ſogenannten Contacttheorie und der chemiſchen Theorie der galvaniſchen Kette beginnen, ein Streit, der mit einer gewiſſen Leidenſchaftlichkeit geführt wurde. Gerade dieſe Heftigkeit des Streites beweiſt aber ſchon, daß die Sicherheit der Beweisführung, mit der man dem Gegner zu widerlegen ſuchte, auf ſchwachen Füßen ſtehe. Ueberall zeigt uns die Geſchichte der Wiſſenſchaft, daß die Heftigkeit der Controverſe verſchwindet, ſobald hinlänglich überzeugende Gründe für eine Anſicht beigebracht werden, wo aber die zwingende Ueberzeugungskraft der Gründe fehlt, da läßt ſich eben der Menſch im Streben, ſeiner Anſicht Geltung zu verſchaffen, gar leicht zur Leidenſchaftlichkeit hinreißen; die Urtheile nehmen dann eine apodictiſche Geſtalt an, um durch die Schroffheit der Form den Widerſpruch zurückzudrängen.

Iſt eine naturwiſſenſchaftliche Theorie genügend begründet, ſo hört die Leidenſchaftlichkeit der Controverſe auf. Wenn jetzt jemand mit der Behauptung auftreten wollte, die Sonne drehe ſich doch um die ſtillſtehende Erde, ich glaube ſchwerlich, daß ſich die Aſtronomen ſehr ereifern, daß ſie ſich viele Mühe geben würden dem Gegner zu widerlegen, und als Drieberg kürzlich die phyſikaliſche Lehre vom Luftdruck angriff, haben ſeine Behauptungen keinerlei Aufregung unter den Phyſikern hervorgebracht.— Der Widerſpruch reizt nur da, wo die Theorien noch nicht über denſelben erhaben ſind, und das iſt zum Theil der Fall in Beziehung auf die Quelle der Elektricität der galvaniſchen Kette.

Ich bin der feſten Ueberzeugung, daß die in Rede ſtehende Streitfrage noch nicht nach allen Seiten hin ſpruchreif iſt, und daß wir eine vollſtän-

dige Löſung derſelben, eine genügende, allſeitig und gleichförmig abgerundete Erklärung der Elektricitätsentwicklung überhaupt, erſt dann erwarten können, wenn wir über das Weſen der Elektricität ſelber erſt beſſer aufgeklärt ſind. Das Weſen der Elektricität zu enträthſeln mögte aber jetzt noch eine vergebliche Mühe ſeyn., es wird erſt möglich werden, wenn neu entdeckte Thatſachen die Materialien liefern, aus denen leicht und ungezwungen eine Theorie herauswächſt, die auf einmal Licht über die Punkte der Elektricitätslehre verbreiten wird, die man jetzt vergeblich durch breitere und unklare Betrachtungen zu erhellen ſucht. — Zu Euler's Zeit war die Vibrationstheorie ſchon ungleich weiter vorgerückt, als unſere Elektricitätslehre, es lag ungleich mehr Material zum Aufbau derſelben bereit, und dennoch gelang es dem großen Naturforſcher nicht ihr allgemeine Anerkennung zu verſchaffen; er konnte ſie nur durch Analogieen mit dem Schall plauſibel machen. Erſt durch die Entdeckung neuer Thatſachen, erſt durch die Entdeckung der Polariſation war es möglich, das wahre Weſen der Lichtwellen zu ermitteln und der Theorie eine Vollendung zu geben, vor welcher der Widerſpruch verſtummen mußte.

Aus mangelhaftem Material wird man niemals einen feſten vollendeten Bau aufführen können. Demzufolge dürfen wir jetzt nur eine relative, keine definitive Entſcheidung der Streitfrage über die Quelle der Elektricität der galvaniſchen Kette erwarten. —

Zu Ende der dreißiger und zu Anfang der vierziger Jahre wurde der Streit mit beſonderer Heftigkeit geführt, er hat aber allmälig nachgelaſſen, ſo daß er jetzt faſt ganz verſtummt iſt, ohne daß ſich jedoch die Meinungen der Phyſiker und Chemiker vollſtändig vereinigt hätten.

Es iſt in der That ſehr ſchwierig, dieſem Streit überall zu folgen und mit kurzen präciſen Worten die gegneriſchen Anſichten hinzuſtellen, weil ſich eben dieſe Anſichten ſelten präcis ausgeſprochen finden und uns häufig nur Nebelbilder ſtatt klar ausgeſprochene und conſequent durchgeführte Anſichten geboten werden. Die im Verhältniß zu ihrem ſachlichen Inhalt größtentheils ſehr bedeutende Ausdehnung der meiſten Abhandlungen, in welchen dieſe Controverſe behandelt wird, iſt in der That kein günſtiges Zeichen für die Klarheit der Vorſtellungen ihrer Autoren.

Unter allen denen, welche an dem Streite ſich betheiligt haben, kann man wohl kaum zwei nennen, die in ihren Anſichten ganz übereinſtimmen. Die meiſten machen ihre Theorien ſo ziemlich auf einer tabula rasa, ohne ſich um das vorhandene Material zu kümmern, und ohne danach zu fragen, ob denn die neu aufgeſtellte Theorie nicht eine bedeutungsloſe Modification ſchon vorhandener Anſichten ſey, ob die neue Hypotheſe wirklich mehr leiſte als die ſchon früher aufgeſtellte. — Daher kommt es denn auch, daß man derſelben Grundidee in den mannichfaltigſten Formen wieder be-

gegnet, wie dies z. B. mit der polaren Stellung der Waſſertheilchen zwiſchen den beiden Polen der Kette der Fall iſt.

Ein Umſtand, welcher bei dieſem Streite beſonders auffallen muß, und der nicht wenig zur Verlängerung deſſelben und zur Verwirrung beigetragen hat, iſt der, daß ſo häufig die gegneriſche Meinung ganz unrichtig aufgefaßt wurde, daß man ſie gleichſam zur Carricatur machte. Auf dieſe Weiſe wurden dem Gegner Behauptungen untergelegt, die er nie gemacht hat; es wurden aus ſeiner Theorie Conſequenzen gezogen, gegen die er proteſtiren muß.

Es erinnert dies an die Polemik *Göthe*'s gegen die Newton'ſche Farbenlehre. — Nach der Newton'ſchen Theorie erwartete *Göthe* eine weiße Wand durch ein Prisma in lauter farbige Streifen getheilt zu ſehen, als er aber die Wand durch das Prisma weiß und nur mit farbigen Rändern begränzt ſah, nahm er aus dieſer Thatſache ein Argument gegen die Newton'ſche Farbenlehre. Die Phyſiker ſind aber darüber einig, daß *Göthe* dadurch nur den Beweis geliefert hat, die Newton'ſche Theorie nicht verſtanden zu haben.

Nicht viel anders iſt es, wenn man die Umkehrung des Stroms eines Zinkkupferelements in Schwefelleberlöſung als Beweis gegen die Contacttheorie geltend machen will; — oder wenn auf der andern Seite behauptet wird, daß *Schönbein*'s Modification der chemiſchen Theorie die Zunahme der Spannung in der offenen Säule nicht erklären könne. Freilich ſind noch viele Erſcheinungen, z. B. die Paſſivitätserſcheinungen, ſehr räthſelhaft, aber keine der beiden ſtreitenden Theorien vermag dieſelben beſſer zu erklären als die andere. Der Umſtand, daß noch Vieles räthſelhaft iſt, kann keinen Grund abgeben, eine Theorie zu verlaſſen, wenn nicht eine andere die Räthſel beſſer löſt. Die Erklärungsweiſe, welche die chemiſche Theorie von Polariſation und Paſſivität giebt, ſteht auf ganz gleicher Stufe mit den entſprechenden Erklärungen der Contacttheorie; beide ſind gleich mangelhaft, ſie laufen aber ſo vollkommen parallel, daß man nur die Terminologie zu ändern braucht, um die Erklärung der einen Theorie in die Sprachweiſe der andern zu überſetzen. In der That iſt es ziemlich gleichbedeutend für das Verſtändniß der Paſſivität des Eiſens, ob man ſagt, ſeine Verwandtſchaft zum Sauerſtoff iſt verringert, oder ob man ſagt, es iſt mehr elektronegativ geworden.

Kurze Charakteriſtik der ſtreitenden Theorien. Gehen wir 101
nach dieſer allgemeinen Betrachtung über zu einer kurzen Charakteriſtik der verſchiedenen galvaniſchen Theorien.

Nach der *urſprünglichen Volta*'ſchen *Contacttheorie* iſt die

Quelle der Elektricität der Säule lediglich in der Wechſelwirkung der in Berührung ſtehenden Metalle zu ſuchen; die Flüſſigkeit der Säule wird nur als Leiter betrachtet.

In dieſer urſprünglichen einſeitigen Form genügt dieſe Theorie unſerer jetzigen Kenntniß der Thatſachen nicht mehr; in dem Maaße, als die Bedeutung der chemiſchen Beziehungen des Stromes mehr bekannt wurden, war man genöthigt, die Theorie zu modificiren, und in der That iſt es gelungen, dieſelbe in eine Form zu bringen, in welcher ſie alle Erſcheinungen der offenen und der geſchloſſenen Säule umfaßt und erklärt.

Dieſe modificirte Form der Contacttheorie iſt es, welche ich in meinem Lehrbuch der Phyſik vorgetragen habe.

Dieſer Contacttheorie entgegen ſteht die chemiſche Theorie der Kette, welche in ihrer ſchroffen Form von de la Rive, Becquerel, Faraday und den meiſten engliſchen Phyſikern vertreten wird. Dieſer Theorie zufolge iſt die Elektricitätsentwickelung in der Kette erſt die Folge einer vorhergegangenen chemiſchen Wirkung, welche die Flüſſigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. Auch die elektriſche Spannung an den Polen der nicht geſchloſſenen Kette iſt nach dieſer Anſicht die Folge einer vorhergegangenen chemiſchen Einwirkung.

Dieſe Meinung, daß die Elektricitätsentwickelung nur die Folge vorhergegangener chemiſcher Wirkung ſey, daß ohne chemiſche Zerſetzung des Elektrolyten gar keine Elektricität in der Kette auftreten könne, iſt es vorzugsweiſe, gegen welche die Angriffe der Contactiſten gerichtet waren, und in der That widerſpricht dieſelbe einer großen Anzahl von Thatſachen. Die chemiſche Theorie in dieſer Form ignorirt den Volta'ſchen Fundamentalverſuch vollkommen, ſie giebt keine Auskunft darüber, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt. Was aber am entſchiedenſten die Unhaltbarkeit dieſer Anſicht darthut, iſt der Umſtand, daß man in der That eine Menge galvaniſcher Ketten conſtruiren kann, bei denen vor der Schließung auch nicht eine Spur chemiſcher Zerſetzung ſtattfindet, und die nichts deſto weniger einen Strom liefern, wenn ſie geſchloſſen werden.

Schönbein hat in einem Aufſatz »über die Urſache der hydroelektriſchen Ströme«, welcher ſich in ſeinen »Beiträgen zur phyſikaliſchen Chemie (Baſel 1844)« befindet, mehrere ſolcher Ketten angeführt. Eine Auflöſung von vollkommen neutralem ſchwefelſaurem Zinkoxyd greift z. B. das Zink nicht an, deſſen ungeachtet giebt eine Combination von Zink und Kupfer in einer Auflöſung von Zinkvitriol einen Strom.

Ein fernerer ſehr bedeutſamer Einwurf gegen diejenige Form der chemiſchen Theorie, welche die Bildung des Stromes von einem vorausge-

gangenen chemiſchen Angriff des einen Metalles der Kette ableitet, iſt auch noch der, daß die elektromotoriſche Kraft einer Kette durchaus nicht der Stärke des chemiſchen Angriffs proportional iſt. Steht in einer Daniell'ſchen Kette das Kupfer in einer Löſung von Kupfervitriol, ſo bleibt die elektromotoriſche Kraft des Apparates faſt ganz ungeändert, mag nun das Zink in Waſſer oder in verdünnter Schwefelſäure oder in einer neutralen Löſung von Zinkvitriol ſtehen. Dies hat außer andern Phyſikern auch Svanberg durch genaue Meſſungen nachgewieſen (P. A. LXXIII. 290). Wäre der vorhergegangene chemiſche Angriff die Quelle des Stromes, ſo müßte die elektromotoriſche Kraft bei Anwendung der verdünnten Säure weit größer ſeyn, als für Waſſer und Zinkvitriol.

Es iſt Thatſache, daß der Strom der Hydrokette nicht ohne Zerſetzung der Flüſſigkeit circuliren kann, die Zerſetzung der Flüſſigkeit ſcheint weſentlich zuſammenzuhängen mit der Leitung der Elektricität durch dieſelbe, und auch die Contacttheorie hat die Bedeutung, welche die chemiſche Zerſetzung in den Zellen für die Strombildung hat, vollkommen anerkannt. Wenn man aber darüber ſtreitet, ob die Zerſetzung die Urſache des elektriſchen Stromes ſey oder ob der chemiſchen Zerſetzung in der Kette erſt ein elektriſcher Spannungszuſtand vorangehe, nach deſſen Quelle wir vor der Hand noch nicht fragen wollen, ſo iſt dies in der That nicht viel anders, als wenn man ſich darüber ſtreiten wollte, ob die Bewegung eines Mühlrades von dem Fall des Waſſers oder von der Schwere des Waſſers abzuleiten ſey. —

Die Schwere veranlaßt den Fall des Waſſers und der Fall des Waſſers die Umdrehung des Rades, ſo wie die elektriſche Spannung die chemiſche Zerſetzung veranlaßt, in Folge deren der Strom circulirt.

Selbſt Faraday, der doch vorzugsweiſe die chemiſche Zerſetzung als Quelle des elektriſchen Stromes betrachtet wiſſen will, giebt zu, daß der Zerſetzung ein Spannungszuſtand der Flüſſigkeit vorangehe, denn er ſagt bei der Gelegenheit, wo er ſeine Vertheilungstheorie, die ſchon oben pag. 55 beſprochen wurde, auf die elektrolytiſche Zerſetzung anwendet: »Die Theorie nimmt an, daß die Theilchen des Dielectricum (jetzt ein Electrolyt) im erſten Augenblick durch gewöhnliche Vertheilungswirkung in einen »Polariſationszuſtand gebracht, und bis zu einem gewiſſen Grade von »Spannung oder Intenſität geſteigert werden, bevor die Entladung anfängt. Der Vertheilungszuſtand iſt in der That eine nothwendige »Vorläuferin der Entladung. Benutzt man die geeigneten Umſtände, »ſo wird es nicht ſchwer halten, die dieſen Vertheilungszuſtand anzeigende »Spannung zu erhöhen und ſo den Zuſtand ſichtbar zu machen. Wenn »z. B. deſtillirtes Waſſer angewandt, und eine lange ſchmale Portion »zwiſchen die Elektroden einer kräftigen Volta'ſche Batterie gebracht wird,

»ſo bekommt man ſogleich Anzeigen von der Intenſität, welche man an dieſen »Elektroden — — — erhalten kann, denn man kann Funken bekommen, »Goldblätter zum Divergiren bringen und Leidner Flaſchen laden u. ſ. w.« (Zwölfte Reihe von Experimentaluntersuchungen über Elektricität, 1345. P. A. XLVII. 47).

Faraday ſelbſt giebt alſo zu, daß der Zerſetzung in die eingeſchaltete Zerlegungsquelle, folglich auch in den einzelnen Zellen der Kette ſelbſt ein Polariſationszuſtand der Zerſetzung, alſo auch die Bildung des Stromes vorangeht. Man kann demnach conſequenterweiſe den Gegenſatz der Faraday'ſchen Theorie der Säule zur Contacttheorie nicht mehr darin ſuchen, daß Faraday die Circulation des Stromes von der chemiſchen Zerſetzung in der Zelle ableite. Die Contacttheorie nimmt wie Faraday an, daß bei der Hydrokette die Bildung des Stromes die Folge der chemiſchen Zerſetzung in die Zelle iſt, ſie nimmt wie Faraday an, daß dieſer Zerſetzung ein Spannungszuſtand vorangehen müſſe, und nur in Beziehung auf die Urſache dieſes Spannungszuſtandes, welche nichts anderes iſt als die elektromotoriſche Kraft, kann eine Meinungsverſchiedenheit zwiſchen Chemiſten und Contactiſten herrſchen.

102 **Schönbein's chemiſche Theorie.** Die Einwendungen wohl berückſichtigend, welche man gegen die chemiſche Theorie in ihrer früheren Form machen kann, hat Schönbein dieſelbe bedeutend modificirt und in dieſer einen Form in dem ſchon oben pag. 228. erwähnten Aufſatz vorgetragen.

Durch dieſe Schrift iſt der Streit der Contactiſten und Chemiſten in ein neues Stadium getreten und, wie mir ſcheint, eine Verſtändigung zwiſchen den Phyſikern angebahnt. Folgendes ſind die Grundzüge der Schönbein'ſchen Theorie, die wir ſeiner Schrift wörtlich entnehmen.

»Von welcher Art auch immer die Urſache oder die Kraft ſeyn mag, »durch welche die Elementarſtoffe befähiget werden, ſich unter einander zu »ſcheinbar gleichartigen Körpern zu vereinigen und in dem neuen Verbindungszuſtand zu verharren, ſo viel iſt gewiß, daß irgend eine Veränderung in dieſem Zuſtande eintreten muß, wenn mit einem der beſagten »Körper ein drittes Element in Berührung gebracht wird, das gegen den »einen oder den andern Beſtandtheil der Verbindung eine merkliche chemiſche Anziehungskraft ausübt. Wählen wir, um unſere Ideen daran zu »erläutern, das Waſſer als Beiſpiel. Sauerſtoff und Waſſerſtoff ſind in »der genannten Verbindung mit einer gewiſſen Stärke zuſammengehalten, »oder es befinden ſich, wenn man die gleiche Sache anders ausdrücken »will, die chemiſchen Anziehungskräfte der erwähnten Elementarſtoffe im »Waſſer in einem gewiſſen Zuſtande des Gleichgewichtes. Bringt man »nun einen oxydirbaren Körper, wie z. B. Zink mit Waſſer, in Berührung,

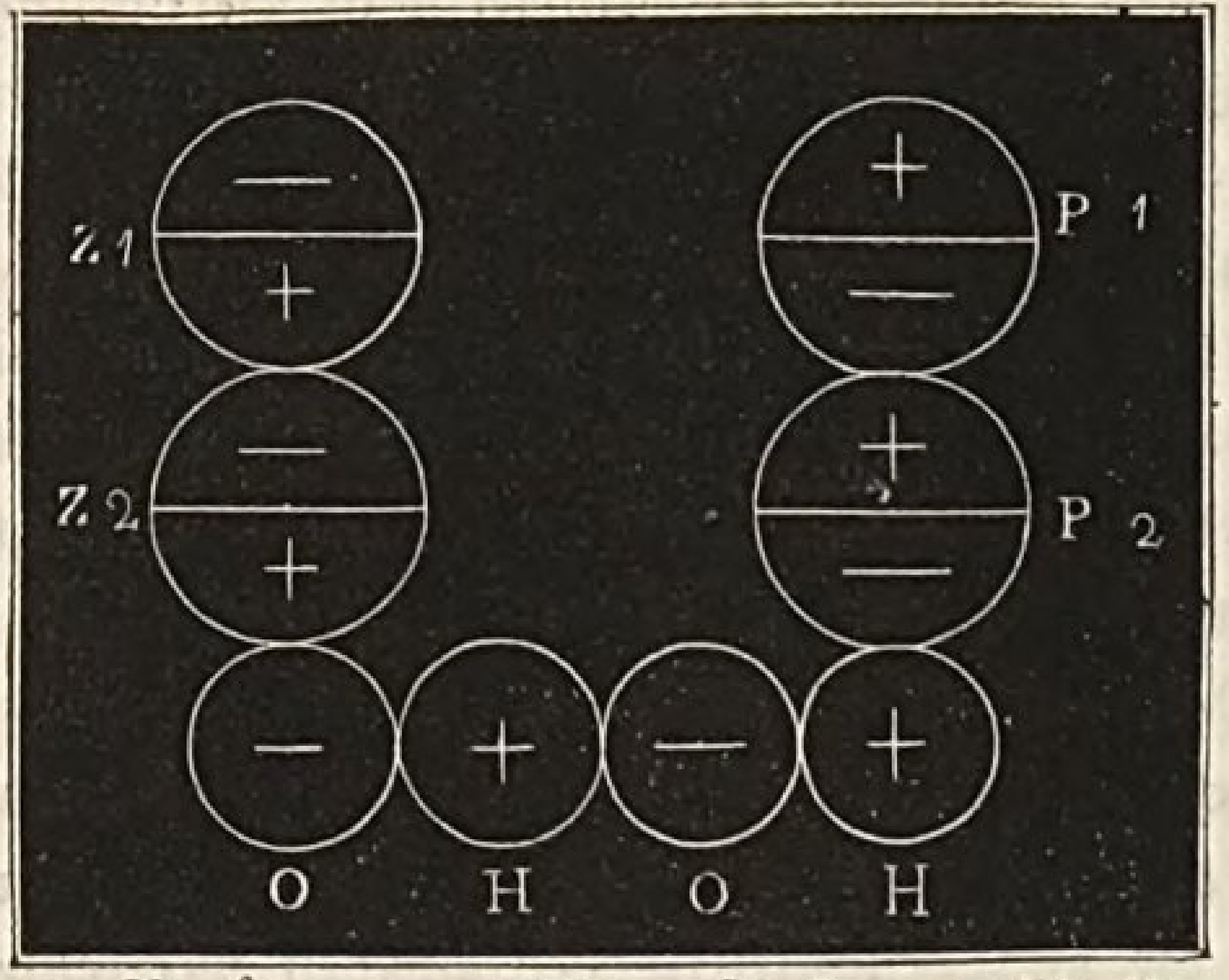
»ſo wird derſelbe eine chemiſche Anziehung von gewiſſer Stärke gegen den »Sauerſtoff des Waſſers ausüben. In Folge dieſer ſtattfindenden An= »ziehung muß aber auch das chemiſche Verhältniß, das zwiſchen Sauerſtoff »und Waſſerſtoff vor der Anweſenheit des Zinkes in Waſſer beſteht, ver= »ändert oder der Zuſtand des urſprünglichen chemiſchen Gleichgewichtes die= »ſer Elemente auf irgend eine Weiſe modificirt oder geſtört werden. Es »wird mit andern Worten unter den vorhin angegebenen Umſtänden in »jedem Waſſertheilchen der Sauerſtoff nach zwei entgegengeſetzten Richtun= »gin hingezogen, einmal nach dem mit dem Waſſermolecül in Berührung »ſtehenden Zinke, und dann nach dem in dieſem Molecül enthaltenen »Waſſerſtofftheilchen.

»Wie nun durch die geringſte mechaniſche Moleculärveränderung, die »in einem Körper ſtattfindet, das elektriſche Gleichgewicht deſſelben geſtört »wird, oder deſſen Theilchen elektriſch polariſirt werden, ſo hat auch die »beſprochene Veränderung, welche durch das Zink in der urſprünglichen »chemiſchen Thätigkeit des Sauerſtoffes zum Waſſerſtoff des Waſſers ver= »urſacht wird, die elektriſche Polariſation der mit einander in Berührung »ſtehenden Materien zur Folge. Es werden die dem Waſſer zugekehrten »Zinktheilchen poſitiv, die Sauerſtoffſeiten der das Zink begränzenden »Waſſermolecüle negativ und die Waſſerſtoffſeiten der gleichen Molecüle »poſitiv polariſirt. Verſteht ſich von ſelbſt, daß die das Zink berühren= »den Waſſertheilchen auf die ihnen benachbarten Waſſermolecüle einen »inducirenden Einfluß ausüben werden, dieſe letzteren wieder auf die nächſt= »folgenden Theilchen, und ſo fort, bis alle unter einander zuſammenhän= »genden Waſſermolecüle in dem Zuſtande elektriſcher Entzweiung oder der »Polariſation ſich befinden. Wie nun von der Stelle, wo Zink und Waſ= »ſer ſich unmittelbar berühren, eine inducirende Wirkung durch die Waſſer= »theilchen hindurch geht, ſo werden auch durch den Vorgang, der an dem »erwähnten Orte ſtattfindet, alle unter einander zuſammenhängenden »Zinktheilchen elektriſch polariſirt und zwar in der Weiſe, daß diejenige »Seite eines jeden ſolchen Theilchens, welche von dem Waſſer abgewendet »iſt, die negative Polarität, die dem Waſſer zugekehrte Seite aber die po= »ſitive Polarität zeigt. Setzt man nun in dieſes ſo beſchaffene, das heißt, »polariſirte Waſſer einen guten Leiter, oder, was daſſelbe ſagen will, eine »leicht elektriſch polariſirbare Materie, welche gegen den Sauerſtoff des »Waſſers indifferent ſich verhält, ſo z. B. Platin, ſo werden die Seiten der »Theilchen dieſes Körpers, welche mit dem Waſſer in unmittelbarer Be= »rührung ſtehen, negativ, und die ein= oder vom Waſſer abwärts gelege= »nen Seiten der gleichen Theilchen poſitiv elektriſch werden, in Folge näm= »lich einer inducirenden Wirkung, welche von dem polariſirten Waſſer auf »das eingetauchte Platin augeübt wird

»Natürlich treten alle übrigen Molecüle des Platins gleichfalls in den »Zuſtand elektriſcher Entzweiung, und zwar ſo, daß diejenige Seite jedes »Theilchens, welche vom Waſſer abgewendet iſt, poſitive Polarität, die »dem Waſſer zugekehrte Seite negative Polarität hat.

»Folgende Zeichnung dürfte von dem elektriſchen Zuſtande, in welchem »ſich die Theilchen des Zinkes, Waſſers und Platins befinden, eine klare »Vorſtellung geben:

Fig. 87.



»Es iſt eine für ſich ſelbſt »verſtandene Sache, daß der »Zuſtand aller Theilchen der »in Rede ſtehenden Vorrichtung ſo lange andauert, als »die Urſache, welche die Polariſation hervorgerufen, fortfährt wirkſam zu ſein, d. h. »ſo lange, als die chemiſche »Anziehung des Zinkes gegen »den Sauerſtoff des Waſſers »ſtattfindet. Hebt man aber »die Berührung zwiſchen Zink und Waſſer auf, ſo gleichen ſich die entgegengeſetzt elektriſchen Zuſtände, in welchen ſich der Waſſer- und Sauerſtoff »jedes Waſſermolecüles befinden, ſofort aus; was zur nothwendigen Folge »hat, daß auch in den Platintheilchen ein ſolcher Ausgleichungsact ſtattfindet.

»Setzt man dagegen z. B. das Theilchen Z^1 unſerer Vorrichtung mit »dem Theilchen P^1 in Berührung, ſo wird unter dieſen Umſtänden die negative Seite von Z^1 mit der poſitiven Seite P^1 in Contact kommen, »und werden ſich die entgegengeſetzten Zuſtände beſagter Theilchen gegenſeitig aufheben. Im demſelben Augenblicke aber, in welchem dieſe Ausgleichungsthätigkeit in den erwähnten Theilen ſtattfindet, muß dieſelbe »auch zwiſchen je zwei unmittelbar benachbarten Theilchen der ganzen Kette, »alſo auch zwiſchen der poſitiven Seite eines das Waſſer berührenden Zinktheilchens und dem mit letzterm in Contact ſtehenden negativen Sauerſtofftheilchen eines Waſſermolecüles erfolgen. Ebenſo gleicht ſich der »elektro-negative Zuſtand eines Platintheilchens mit dem poſitiven Zuſtand »des damit in Berührung ſtehenden Waſſerſtofftheilchens eines Waſſermolecüles aus.

»Die elektriſche Ausgleichung nun, welche zwiſchen je einem Metalltheilchen und dem einen Beſtandtheil eines Waſſermolecüles ſtattfindet, »iſt ohne eine Zerlegung des letztern nicht möglich, indem eben dieſer Aus-

»gleichungsact als die wahre und letzte Urſchache der elektriſchen Zerſetzung »des Waſſers betrachtet werden muß.«

— — — — — — — — — — — — — —

»Wie man leicht einſieht, iſt nach dieſer Betrachtungsweiſe die wirk»liche Verbindung des Sauerſtoffs mit dem Zink unſerer Kette nur als ſe»cundäre Wirkung des Stroms oder des elektriſchen Ausgleichungsactes »anzuſehen und nicht als die Urſache oder die Quelle des Stromes ſelbſt. »Iſt nun dieſe chemiſche Verbindung zwiſchen dem Sauerſtoff- und Zink»molecül vollzogen, und befindet ſich im Waſſer eine Materie, welche das »Zinkoxyd von ſeinem Bildungsorte zu entfernen vermag, ſo wird hierdurch »ein neues Zinktheilchen in Berührurg mit einem Waſſermolecül geſetzt, wird »dieſes letztere, nebſt allen zwiſchen Zink und Platin liegenden Waſſerſtoff»theilchen aufs Neue elektriſch polariſirt; es erfolgt bei der Fortdauer der »Schließung der Kette abermals eine Ausgleichung der elektriſchen Gegen»ſätze zwiſchen je zwei benachbarten Theilchen des Volta'ſchen Kreiſes und »in Folge hiervon die Zerſetzung neuer Waſſermolecüle; und ſo geht Pola»riſirung und Depolariſirung, Volta'ſche Strömung und Elektrolyſe fort, »bis die hierzu nöthigen Bedingungen aufhören erfüllt zu werden.

»Setzen wir nun den Fall, daß man Waſſer zwiſchen zwei Metalle »ſtelle, welche genau eine gleich ſtarke Anziehung gegen den Sauerſtoff dieſer »Flüſſigkeit äußerten, ſo iſt klar, daß derſelbe unter dieſen Umſtänden nach »entgegengeſetzten Richtungen hin gleich ſtark gezogen würde, und daß mit»hin die auf die Waſſertheilchen von den Metallen ausgeübten Wirkungen »ſich gegenzeitig aufheben müßten, die Beſtandtheile dieſer Waſſermolecüle »alſo auch nicht polariſirt werden, und deshalb beim Schließen einer derar»tigen Kette weder Strömungen noch elektrolytiſche Thätigkeiten ſtattfinden »könnten.

»Brächte man aber Waſſer zwiſchen zwei Metalle, von denen das eine »Affinität zum Sauerſtoff der genannten Flüſſigkeit hat, größer als die»jenige, welche der andere metalliſche Körper zum gleichen Sauerſtoffe beſitzt, »ſo würde unter ſolchen Umſtänden das zwiſchen den Beſtandtheilen jedes »Waſſermolecüles beſtehende chemiſche Gleichgewicht geſtört werden, und »zwar in einem Grade, welcher dem Unterſchiede der Oxydirbarkeit beider in »Anwendung gebrachten Metalle proportional ſeyn müßte.

»Da nun die Störung dieſes chemiſchen Gleichgewichtes zwiſchen den »Beſtandtheilen der Waſſertheilchen auch die Aufhebung des elektriſchen »Gleichgewichtes nach ſich zieht, und dieſe um ſo bedeutender ausfällt, je »größer jene iſt, ſo folgt hieraus, daß der Grad der elektriſchen Polariſirung, »der zwiſchen zwei Metalle geſtellten Waſſermolecüle auch proportional ſeyn »muß dem Unterſchiede der Oxydirbarkeit der fraglichen metalliſchen Körper; »oder, um die gleiche Sache anders auszudrücken, daß die Größe der elektri-

»ſchen Spannnng, in welche die Theile einer offenen Kette zu einander tre»ten, gemeſſen wird durch die Größe des Unterſchiedes, welcher zwiſchen den »Graden der Oxydirbarkeit der in die Conſtruction der Kette eingehenden »Metalle beſteht.

— — — — — — — — — — — — —

„Steht nun wirklich die Oxydirbarkeit eines Metalles in dem von mir »angenommenen Zuſammenhange mit ſeinem Volta'ſchen Verhalten, ſo »iſt es eine von ſelbſt verſtandene Sache, daß die Stelle, welche ein metal»liſcher Körper in der elektriſchen Spannungsreihe der Contactiſten einnimmt, »auch den Grad bezeichnet, welcher demſelben Metalle in der Skale der »Oxydirbarkeit der metalliſchen Subſtanzen zukommt. Vergleichen wir nun »die Spannungsreihe der Metalle, welche man erhält, wenn dieſelbe mit »Waſſer auf galvanoſkopiſchem Wege ermittelt wird, mit der Skale der »Oxydirbarkeit der gleichen Körper, wie ſie ſich aus den gewöhnlichen chemi»ſchen Erſcheinungen ableiten läßt, ſo kann unſerem Blicke unmöglich die »große Uebereinſtimmung entgehen, welche zwiſchen beiden Reihen beſteht.«

— — — — — — — — — — — — —

„Da wir nun eine Anzahl von Elektrolyten haben, in welchen andere »Metalloide als der Sauerſtoff die Rolle des Anions ſpielen, wie dies z. B. »die einfachen Salzbilder, der Schwefel und das Selen, in ihren Verbin»dungen mit Waſſerſtoff thun, ſo folgt aus den vorhin gemachten Bemer»kungen, daß die elektriſchen Spannungsreihen der Metalle mit verſchiede»nen Elektrolyten ermittelt, nicht völlig mit einander übereinſtimmend aus»fallen können. Dieſer Mangel an Uebereinſtimmung iſt wirklich durch »vielfache Verſuche außer allen Zweifel geſtellt worden, und nicht ganz klein »iſt die Zahl von Fällen, in welchen dieſelben zwei Metalle ein verſchieden»artiges Volta'ſches Verhalten gegen einander zeigen, wenn dieſelben in »verſchiedene elektrolytiſche Flüſſigkeiten gebracht werden; ſo alſo, daß das »gleiche Metall, welches in der einen Flüſſigkeit z. B. poſitiv gegen das »zweite Metall ſich verhält, in der anderen Flüſſigkeit ein umgekehrtes Ver»halten zeigt.

»Der Fall einer Verwechslung der Volta'ſchen Rolle, welche dieſelben »zwei Metalle in zwei verſchiedenen Flüſſigkeiten ſpielen, muß, gemäß den »obigen Auseinanderſetzungen, immer dann eintreten, wenn das chemiſche »Verhalten dieſer Metalle zu den Anionen der in Anwendung gebrachten »Elektrolyten ſich nicht gleich iſt, d. h. wenn die Verwandtſchaft eines und »deſſelben Metalles zu den beiden Anionen der Elektrolyten die Affinität »des anderen Metalles zu den gleichen Anionen nicht übertrifft, oder das »entgegengeſetzte Verhalten zeigt.

»Die Erfahrung lehrt allerdings, daß im Allgemeinen die Verwandt»ſchaftsverhältniſſe, welche zwiſchen den Metallen und dem Sauerſtoffe be-

»ſtehen, auch ähnlich ſind denjenigen, welche zwiſchen jenen Körpern und »den Salzbildern, dem Schwefel, Selen u. ſ. w. ſtattfinden, woher es eben »kommt, daß das Volta'ſche Verhalten, welches die Metalle in nicht ſauer»ſtoffhaltigen elektrolytiſchen Flüſſigkeiten zeigen, ſo häufig übereinſtimmen »mit demjenigen, welches dieſelben Körper im Waſſer bemerken laſſen.

— — — — — — — — — — — — —

»Betrachten wir nun diejenigen Ketten, welche aus einem Metalle und »zwei elektrolytiſchen Flüſſigkeiten beſtehen.

»Als das intereſſanteſte Beiſpiel deſſelben iſt gewiß diejenige zu be»trachten, die man aus Waſſer, Salzſäure und Gold erhält.«

„Dieſe Kette liefert erfahrungsgemäß einen Strom, der vom Gold in »Salzſäure und von dieſer in das Waſſer geht. Dieſer Strom iſt aller»dings ſchwach, und hört wegen der ſchnell erfolgenden poſitiven Polariſa»tion des Goldes, welches in das Waſſer taucht, bald auf eine meßbare »Stärke zu haben.

»Die Entſtehung des fraglichen Stromes beruht auf der einfachen »Thatſache, daß das Gold zum Chlor der Salzſäure eine chemiſche Ver»wandtſchaft beſitzt, größer als diejenige, welche daſſelbe Metall zum Sauer»ſtoffe des Waſſers hat.

— — — — — — — — — — — — —

»Aus voranſtehender Erörterung läßt ſich leicht abnehmen, daß alle »Volta'ſchen Vorrichtungen, welche aus zwei verſchiedenen Elektrolyten »und einem Metalle zuſammengeſetzt ſind, wirkſame Ketten bilden müſſen, »falls das hierbei angewendete Metall zu dem Anion des einen elektrolyti»ſchen Körpers eine chemiſche Verwandtſchaft beſitzt, größer als die Affinität »des gleichen Metalles zu dem Anion des anderen Elektrolyten. Auch wird »aus dieſer Erörterung ferner klar, daß die Stärke des auftretenden Stro»mes proportional ſein muß dem Unterſchiede, welcher zwiſchen den beiden »eben erwähnten Affinitätsgrößen ſtattfindet.

— — — — — — — — — — — — —

„Es wird wohl kaum der ausdrücklichen Erwähnung bedürfen, daß »auch andere als metalliſche Körper an das eine oder das andere Ende einer »ſtetigen Reihe elektrolytiſcher Molecüle geſtellt werden können, um dieſe zu »polariſiren. Je nach dem chemiſchen Verhalten, das ſolche Körper zu dem »Anion oder Kathion eines Elektrolyten zeigen, werden deſſen Molecüle in »dieſem oder jenem Sinne polariſirt werden.

»Wird mit dem einen Ende einer Reihe von Waſſertheilchen z. B. »Chlor in Berührung gebracht, ſo muß unter dieſen Umſtänden eine Stö»rung des chemiſchen Gleichgewichtes dieſer Molecüle ſtattfinden, und müſ»ſen ſich deren Waſſerſtoffſeiten nach dem Chlore richten. Setzt man nun »das eine Ende eines Platinbogens mit dem Chlor, und das andere Ende

»des gleichen Bogens mit irgend einem Waſſertheilchen der erwähnten Reihe »in Berührung, ſo wird ein Strom entſtehen müſſen, der von dieſem an»deren Ende des Platinbogens durch das Waſſer zum Chlore geht, während »dieſes mit dem Waſſerſtoff des Waſſers ſich chemiſch vereinigt.

»Befindet ſich dagegen an dem Ende einer ſtetigen Reihe von Waſ»ſermolecülen eine nichtmetalliſche Subſtanz, die zum Anion dieſer Reihe »irgend eine chemiſche Anziehung ausübt, ſo wird eine Polariſation der »Waſſertheilchen ſtattfinden, welche entgegengeſetzt iſt derjenigen, die in dem »vorhin betrachteten Falle das Chlor veranlaßt.

»Eine ſolche Subſtanz iſt z. B. die ſchweflichte Säure, welche das »Beſtreben hat, mit dem Sauerſtoffe des Waſſers ſich zu verbinden. Dieſes »Beſtreben iſt hinreichend, um die Waſſertheilchen zu polariſiren, und unter »den geeigneten Umſtänden einen Strom in Bewegung zu ſetzen.

»Stellt man an das Ende einer Reihe von Waſſermolecülen einen »Körper, welcher zu dem Anion derſelben, an das andere Ende dieſer Reihe »eine Subſtanz, die zu dem Kathion dieſer Molecüle eine chemiſche Anzie»hung äußert, ſo iſt klar, daß die fragliche Reihe der elektrolytiſchen Waſſer»theilchen unter einem gedoppelten polariſirenden Einfluß ſich befindet, und »die hierbei ins Spiel kommenden elektromotoriſchen Kräfte ſich gegenſeitig »verſtärken. Eine Reihe ſolcher elektrolytiſcher Molecüle, die an dem einen »ihrer Enden z. B. Chlor, an dem anderen Ende ſchweflichte Säure hat, »muß daher, wenn durch einen leitenden Bogen zum Volta'ſchen Kreiſe »geſchloſſen, einen Strom erregen, ſtärker als derjenige, welcher auftritt in »dem Falle, wo entweder nur Chlor oder nur ſchweflichte Säure unter ſonſt »gleichbleibenden Umſtänden zur Anwendung kommt.

»Es iſt kaum nöthig zu bemerken, daß meine Waſſerſtoffplatinkette, »wie auch die neue Grove'ſche Gasſäule, Volta'ſche Vorrichtungen ſind, »welche, obwohl einige Eigenthümlichkeiten darbietend, dennoch in die Klaſſe »der vorhin beſprochenen Combinationen gehören.«

Endlich beſpricht Schönbein noch die ſogenannten Hyperoxydketten. Taucht man eine reine und eine mit einer Hülle von Bleihyperoxyd verſehene Platinplatte in Waſſer, ſo wird ein Strom entſtehen, ſobald man die beiden Metallplatten metalliſch verbindet, und zwar geht der poſitive Strom von der reinen Platinplatte durch die Flüſſigkeit zu der mit Hyperoxyd überzogenen.

Die Strombildung ſowohl, wie auch die Richtung derſelben erklärt ſich leicht.

Es iſt bekannt, daß die Hälfte des Sauerſtoffs im Hyperoxyd große Geneigtheit zeigt, ſich abzutrennen und mit oxydirbaren Körpern zu verbinden; Schönbein hat ferner gezeigt, daß das zweite Miſchungsgewicht Sauerſtoff im fraglichen Hyperoxyd eine größere Verwandtſchaft gegen oxy-

dirbare Stoffe äußert, als ſelbſt ungebundener oder freier Sauerſtoff; das Hyperoxyd wird alſo polariſirend auf die Waſſertheilchen wirken, und zwar ſo, daß ſie ihre Waſſerſtoffſeite gegen das Hyperoxyd kehren.

Andere Hyperoxyde verhalten ſich auf gleiche Weiſe.

**Vergleichung der Schönbein'ſchen Theorie mit der Contact- 103
theorie.** Vergleichen wir nun die Schönbein'ſche Theorie mit der Contacttheorie, wie ſie in meinem Lehrbuche vertreten iſt, ſo müſſen wir geſtehen, daß beide vollkommen parallel laufen, daß die Erſcheinungen der offenen und der geſchloſſenen Kette durch beide gleich gut erklärbar ſind; denn Schönbein verlegt nur den Ort der Elektricitätserregung von der Berührungsſtelle der Metalle an die Berührungsſtelle zwiſchen Metall und Flüſſigkeit. Darin aber iſt Schönbein's Theorie entſchieden im Vortheil, daß ſie in allen Volta'ſchen Combinationen die Richtung des Stromes aus den chemiſchen Beziehungen der die Kette bildenden Subſtanzen zum Voraus beſtimmen kann, während der Contacttheorie ein ſolches Princip fehlt.

Daß dieſelben Metalle bald einen Strom nach der einen bald nach der andern Richtung geben, je nachdem man zwiſchen dieſelben dieſe oder jene Flüſſigkeit bringt, erklärt ſich nach den modificirten Contacttheorieen ganz gut aus dem verſchiedenen elektromotoriſchen Verhalten der Flüſſigkeiten zu den Metallen, die Schönbein'ſche Theorie läßt uns aber nicht allein die Möglichkeit einer Stromumkehrung durch den Wechſel der Flüſſigkeit einſehen, ſondern ſie ſagt uns auch, in welchen Fällen und warum die Stromumkehrung ſtattfindet.

Die Schönbein'ſche Theorie beſtimmt alſo immer a priori ſchon nach der chemiſchen Natur der Stoffe, welche die Kette bilden, die Richtung des Stromes, mag nun die Kettte aus zwei Metallen und einer Flüſſigkeit oder aus zwei Flüſſigkeiten und einem Metalle gebildet ſeyn, während uns die Contacttheorie in manchen Fällen in ſo weit im Stich läßt, daß ſie nicht im Stande iſt aus einem allgemeinen Grundſatz für alle Fälle die Richtung des Stroms zum Voraus zu beſtimmen und daß es in ſolchen Fällen (z. B. bei Ketten aus Waſſer, Salzſäure und Gold; Waſſer, ſchweflichte Säure in Platin) erſt eines Verſuchs bedarf, um über die Richtung des Stromes Auskunft zu erhalten.

Dieſen Betrachtungen zufolge ſollte man meinen, es könne gar kein Zweifel mehr obwalten, für welche der beiden Theorien man ſich zu entſcheiden habe, ob für Schönbein's chemiſche Theorie oder für die modificirte Contacttheorie. Deſſen ungeachtet kann ich es, ſo zu ſagen, doch noch nicht auf mein phyſikaliſches Gewiſſen nehmen, mich unbedingt für Schönbein's Theorie auszuſprechen, weil ſie eine wohlbegründete Thatſache, den Volta'ſchen Fundamentalverſuch gänz-

lich ignorirt und von demſelben nicht entfernt eine Erklärung zu geben im Stande iſt.

Daß eine Elektricitätserregung ſtattfindet, wenn verſchiedene Metalle mit einander in Berührung kommen, iſt eine durch directe in mannichfachen Formen angeſtellte Verſuche hinlänglich conſtatirte Thatſache, die man weder ignoriren darf, noch durch ſolche Künſteleien in der Deutung des Verſuchs beſeitigen kann, wie es die Gegner der Contacttheorie gethan haben.

Hier möchte ſich aber, meiner Anſicht nach, ein ſehr einfacher Ausweg bieten. Steht denn der Fundamentalverſuch im Widerſpruch mit der Schönbein'ſchen Theorie? — Keineswegs! — Alle Sätze der Schönbein'ſchen Theorie zugegeben, wird durch dieſelbe die Möglichkeit nicht ausgeſchloſſen, daß eine elektriſche Spannung eintritt, wenn zwei Metalle von verſchiedener Oxydirbarkeit mit einander in Berührung gebracht werden. — Nimmt man in die Schönbein'ſche Theorie dieſen Satz noch auf, ſo genügt ſie allen bis jetzt bekannten Thatſachen.

Betrachten wir nach dieſer Anſicht den Vorgang, welcher bei Schließung einer einfachen Kette ſtattfindet. Bringt man mit Waſſer auf der einen Seite eine Zinkplatte, auf der andern Seite eine Platinplatte in Berührung, ſo wird eine elektriſche Polariſation eintreten, wie ſie durch Figur 88 angedeutet iſt, nur müſſen wir von der Polariſation der einzelnen Zinktheilchen und der einzelnen Platintheilchen abſtrahiren, welche meines Wiſſens auch durch keine Thatſache gefordert wird. Statt der Fig. 88 würde uns Fig. 89 den Polariſationszuſtand darſtellen; die elektriſche Polarität der Waſſertheilchen ſowohl als auch der Metallplatten iſt jedoch in dieſem Falle noch gering. Sobald man aber *Z* und *P* in Berührung bringt, wird das Zink bedeutend ſtärker poſitiv, die

Fig. 88.

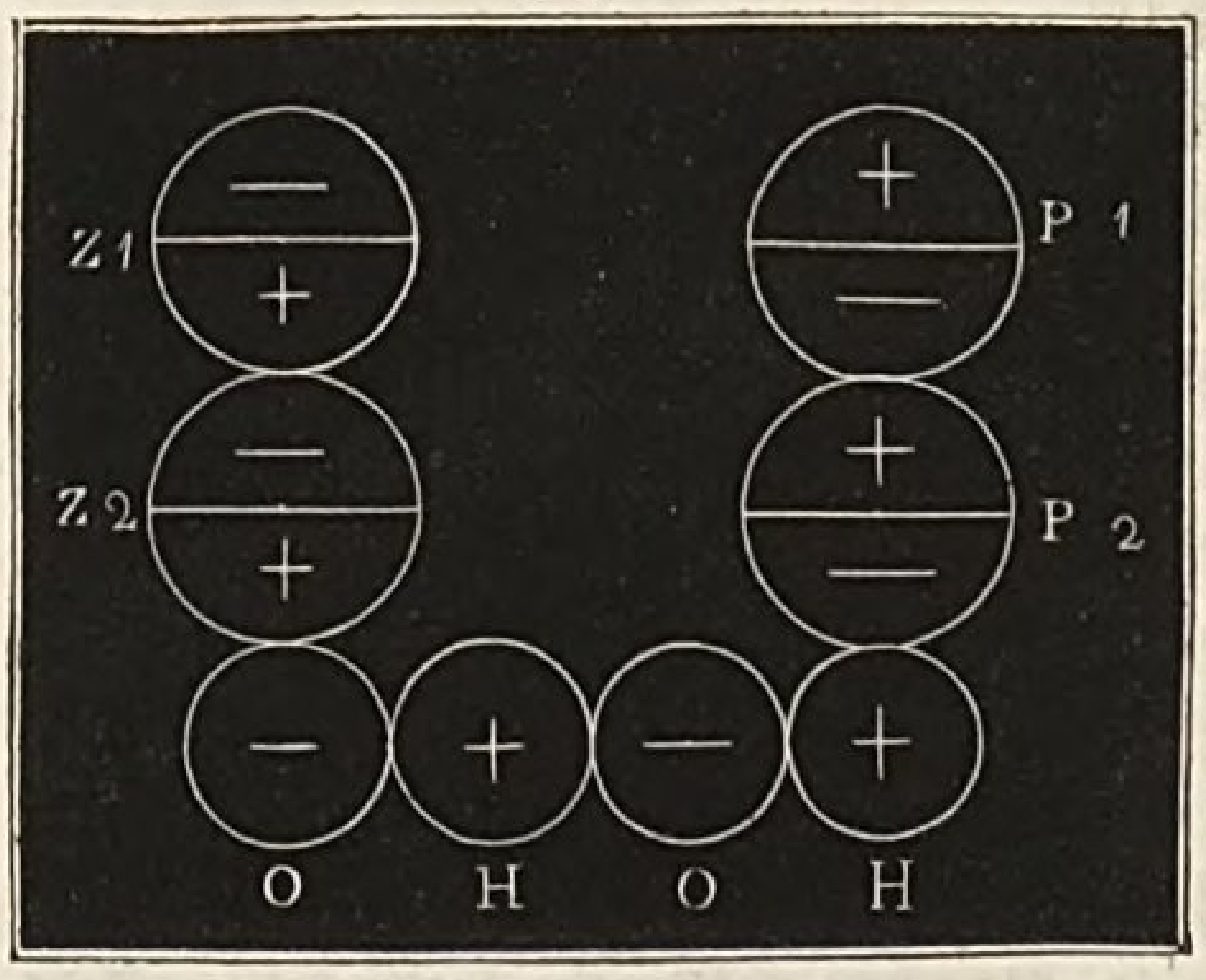
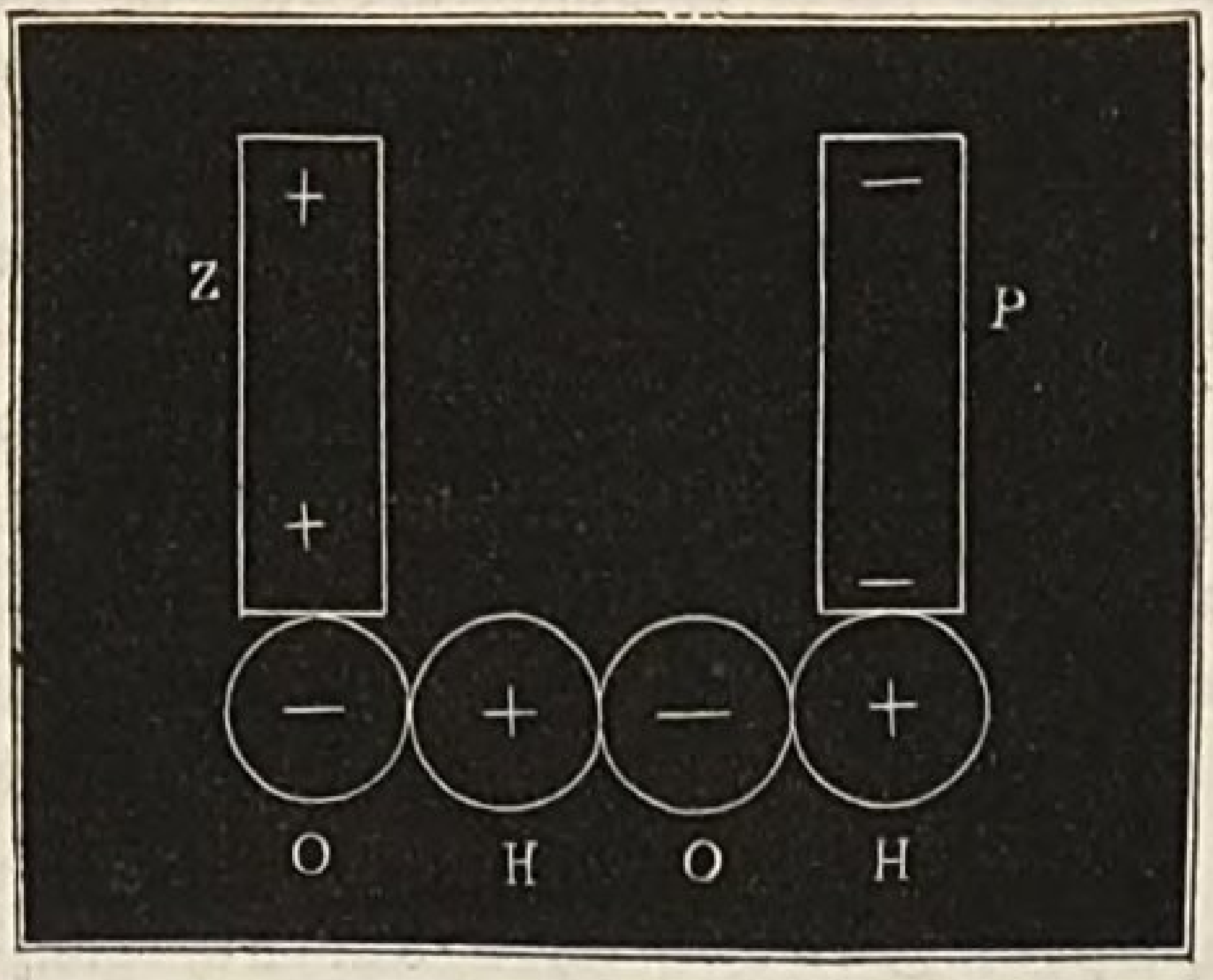


Fig. 89.



Platinplatte wird ſtärker negativ und in Folge deſſen wird auch die Polariſation der Waſſertheilchen zwiſchen beiden Platten bedeutend verſtärkt.

Ich habe hier den Weg nur angedeutet, auf welchem mir eine Ausgleichung der Differenzpunkte beider ſtreitenden Theorien möglich ſcheint, eine vollſtändige Durchführung dieſer Idee mir für ſpäter vorbehaltend.

Von manchen Seiten wird man wohl einen ſolchen Vermittelungsverſuch als ein verwerfliches juste milieu bezeichnen, welches zwiſchen den extremen Partheien zu laviren ſuche. Dagegen habe ich zu erwidern, daß der Naturforſcher beim Aufbau ſeiner Theorie alle Thatſachen berückſichtigen muß. Thut man dies, ſo kann man ſich nicht unbedingt für eine chemiſche Theorie entſcheiden, welche den Fundamentalverſuch ignorirt, man kann aber auf der andern Seite auch nicht unbedingter Anhänger der Contacttheorie in ihrer bisherigen Form bleiben, man wird die eine oder die andere der beiden Theorien ſoweit modificiren müſſen, daß ſie alle bekannten Thatſachen umfaßt, wie ich es verſucht habe. Ob ich bei dieſem Verſuch den richtigen Weg eingeſchlagen habe, laſſe ich freilich dahingeſtellt ſeyn.

Der Name Contactelektricität, Berührungselektricität iſt jedenfalls ein ganz unpaſſender und mag nicht wenig zur Verwirrung der Streitfrage beigetragen haben; eigentlich iſt jede Elektricität, wo und wie ſie auch auftreten mag, Berührungselektricität, denn zur Erregung von Elektricität hat man unter allen Umſtänden zwei verſchiedenartige Körper nöthig, welche in Berührung gebracht werden müſſen: bei den Elektriſirmaſchinen Glas und Amalgam, bei der Volta'ſchen Säule zwei Metalle und eine Flüſſigkeit, bei der Thermoſäule verſchiedenartige Metallſtäbe. — Ueberall wo heterogene Körper in Berührung gebracht werden, findet wohl eine Elektricitätsentwickelung ſtatt, es wird ſich aber alsbald ein elektriſcher Gleichgewichtszuſtand einſtellen. Soll eine fortdauernde Elektricitätserregung ſtattfinden, ſo muß dieſer Gleichgewichtszuſtand fortwährend geſtört werden; dies findet bei der Reibungselektricität dadurch ſtatt, daß die ſich eben ſehr innig berührenden Stellen der heterogenen Körper außer Berührung gebracht werden; bei der Hydrokette durch die Zerſetzung des Elektrolyten. Bei der Thermoſäule wird die Strömung des elektriſchen Gleichgewichts durch die Strömung des thermiſchen Gleichgewichtes bedingt.

Zweiter Abſchnitt.

Beſtimmung der Conſtanten Volta'ſcher Ketten.

104 **Einheit der Stromſtärke.** Will man verſchiedene Stromſtärken vergleichen, ſo muß man ſich vor allen Dingen über ein gemeinſchaftliches Maaß für dieſelbe verſtändigen. Bis jetzt ſind meines Wiſſens drei verſchiedene Stromeinheiten in Vorſchlag und Anwendung gebracht worden, welche wir etwas näher betrachten wollen.

Pouillet ſchlägt als Stromeinheit den Strom vor (P. A. XLII. S. 281), den ein thermoelektriſches Element von Kupfer und Wismuth liefert, welches ſo geſchloſſen iſt, daß der Geſammtwiderſtand gleich dem eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes iſt, wenn die eine Löthſtelle auf einer Temperatur von 100^0, die andere auf einer Temperatur von 0^0 erhalten wird.

Jacobi (P. A. XLVIII. 26) vergleicht die Ablenkung einer Nervander'ſchen Tangentenbouſſole mit der Waſſerzerſetzung, welche der Strom gleichzeitig hervorbringt, er reducirt alſo die Angaben der Tangentenbouſſole auf chemiſchen Effect. Als Einheit der Stromſtärke nimmt er dabei denjenigen Strom an, welcher in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas (von 0^0 Temperatur bei einem Luftdruck von 760^{mm}) liefert.

Weber nimmt zur Einheit der Stromſtärke denjenigen Strom, welcher die Einheit der Fläche umkreiſend in der Ferne dieſelbe Wirkung hervorbringt, wie die Einheit des freien Magnetismus.

Um zu erläutern, was Weber unter der Einheit des freien Magnetismus verſteht, müſſen wir etwas weiter ausholen.

Ein nördlich oder ſüdlich von einer Magnetnadel befindlicher Magnetſtab, deſſen Axe rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht, wie dies Fig. 90 (a. f. S.) dargeſtellt iſt, wird ein Beſtreben äußern, die Nadel aus dem magnetiſchen Meridian abzulenken, während der Erdmagnetismus ſie in demſelben zurückzuführen ſtrebt. Die Größe der

Ablenkung hängt von dem Verhältniß beider Kräfte ab, und zwar iſt die Tangente des Ablenkungswinkels der Quotient der Erdkraft in die Stabkraft, alſo

Fig. 90.

$$\frac{f}{T} = tang.\ v \ldots\ldots 1)$$

wenn wir mit v den Ablenkungswinkel bezeichnen, mit f die Kraft, mit welcher der Stab der Nadel aus dem magnetiſchen Meridian herauszudrehen, und mit T die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus dieſelbe zurückzuführen ſtrebt. (Das Nähere in meinem Lehrbuche der Phyſik 3te Aufl. 2. Bd. S. 40 u. f.)

Nun iſt aber die Wirkung des Stabs auf die Nadel der dritten Potenz der Entfernung von derſelben proportional, ſo lange dieſe Entfernung einigermaßen groß iſt im Vergleich zu den Dimenſionen des Stabes und der Nadel. Bezeichnen wir mit r dieſe Entfernung, ſo muß alſo das Product fr^3 eine conſtante Größe ſeyn, die wir mit M bezeichnen wollen. —

Dieſes Product fr^3 oder M bezeichnet aber nichts anderes als das Drehungsmoment, welches der Stab auf die Nadel ausüben würde, wenn er ſich in der Entfernung 1 von ihr befände, und ſeine Wirkung bei dieſer Annäherung wirklich ſtets in demſelben Verhältniß zugenommen hätte, in welchem der Kubus der Entfernung abnahm. Dieß Verhältniß zwiſchen Wirkung und Entfernung findet nun in der That für kleine Entfernungen nicht mehr ſtatt, dieß hindert aber nicht das auf die Einheit reducirte Drehungsmoment fr^3 oder M für ein Maaß des Stabmagnetismus zu benutzen. Multiplicirt man Gleichung 1 mit r^3 und ſetzt man $fr^3 = M$, ſo kommt

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v$$

oder

$$M = T\ r^3\ tang.\ v \ldots\ldots 2)$$

Nehmen wir an, der ablenkende Stab und die Nadel ſeyen gleich ſtark magnetiſch, ferner der Magnetismus in beiden ſey gerade ſo ſtark entwickelt, daß das reducirte Drehungsmoment M gleich iſt dem Druck, welchen die Maſſe eines Milligramms an einem Hebelarm von 1^{mm} angreifend hervorbringen würde, wenn auf dieſe Maſſe ſtatt der beſchleunigenden Kraft der Schwere eine Kraft wirkte, un-

ter deren Einfluß der doppelte Fallraum der erſten Secunde gleich der Längeneinheit (1^mm) wäre, ſo iſt dies die Einheit des freien Magnetismus.

Mit dieſer Einheit iſt auch die erdmagnetiſche Kraft zu meſſen oder, mit anderen Worten, T iſt in dieſer Einheit auszudrücken. Wie der Zahlenwerth von T beſtimmt wird, wenn man das eben definirte abſolute Maaß zu Grunde legt, findet man in Weber's Originalabhandlungen über dieſen Gegenſtand, und in elementarer Darſtellung in meinem Lehrbuch der Phyſik (3te Aufl. 2ter Band Seite 48).

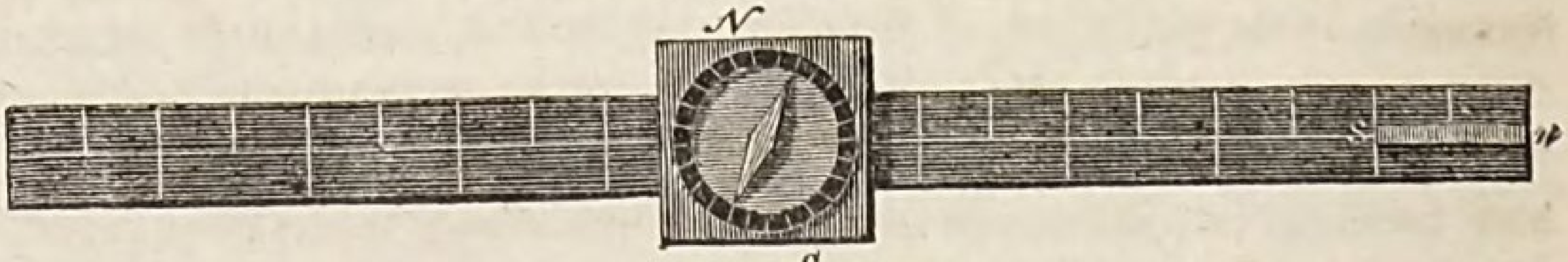
Iſt der Werth von T nach abſolutem Maaß beſtimmt, ſo giebt uns die Gleichung 2 das reducirte Drehungsmoment eines Magnetſtabs in derſelben Einheit ausgedrückt.

Die Größe M hat aber noch eine andere Bedeutung als die bisher beſprochene. Es iſt nämlich $C = T \,.\, M$ das Drehungsmoment, mit welchem der Erdmagnetismus den rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſtehenden Stab aus dieſer Lage herauszudrehen ſtrebt (Lehrbuch der Phyſik 3te Aufl. 2ter Band Seite 44). M bezeichnet alſo die Größe dieſes Drehungsmomentes für den Fall, daß $T = 1$ wäre.

Wenn man alſo beobachtet hat, um wie viel Grade eine Magnetnadel durch einen nördlich oder ſüdlich von ihm in der Lage Fig. 90 befindlichen Stab abgelenkt wird, ſo kann man nach dieſer Beobachtung mittelſt der Gleichung 2 das Drehungsmoment berechnen, mit welchem der Erdmagnetismus den Stab, welcher rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian liegt, aus dieſer Lage herauszudrehen ſtrebt.

Bringt man den Magnetſtab öſtlich oder weſtlich von der Magnetnadel an, alſo in eine ſolche Lage, wie ſie Fig. 91 dargeſtellt iſt, ſo lenkt nun der Stab bei gleicher Entfernung die Nadel ſtärker ab, und zwar ſo, daß die Tangente des Ablenkungswinkels u jetzt doppelt ſo groß iſt als die Tangente des

Fig. 91.



Ablenkungswinkels v, welchen derſelbe Stab bei gleicher Entfernung, aber in der Lage Fig. 90, hervorgebracht haben würde; unter übrigens gleichen Umſtänden iſt alſo $tang.\, v = \frac{tang.\, u}{2}$, hat man alſo die Ablenkungsverſuche nicht in der Lage Fig. 90, ſondern in der Lage Fig. 91 gemacht, ſo ergiebt ſich nun

$$M = \frac{T\, r^3\, tang.\, u}{2}.$$

Das Verhalten des Kreisſtromes, welcher den in der Ebene des mag=

netiſchen Meridians liegenden Ring der Tangentenbouſſole durchläuft, gegen den Erdmagnetismus ſowohl wie gegen die Magnetnadel in ſeiner Mitte läßt ſich nun mit der Wirkung des in der Lage Fig. 91 befindlichen Magnetſtabes vergleichen.

Wenn der Kreisſtrom der Tangentenbouſſole die Nadel um u Grade ablenkt, ſo iſt (Lehrbuch der Phyſik 3te Aufl. 2ter Band S. 203)

$$tang.\, u = \frac{2\pi g}{r T},$$

wenn g die Stromſtärke und r den Halbmeſſer des Ringes bezeichnet; wir haben alſo für das reducirte Drehungsmoment des Kreisſtromes G, welches dem Drehungsmomente M eines Magnetſtabes entſpricht

$$G = \frac{T r^3\, tang.\, u}{2} = \pi\, r^2 g \;.\;.\;.\;.\; 3).$$

Es iſt dies G die Kraft, mit welcher unter den oben angegebenen Verhältniſſen der Kreisſtrom aus der Ebene des magnetiſchen Meridians herausgedreht werden würde, wenn die magnetiſche Erdkraft $= 1$ wäre.

Wenn $\pi r^2 = 1$ ſo wird $G = g$, es iſt demnach g das Moment eines Kreisſtromes, welcher die Einheit der Fläche umkreiſt.

Aus Gleichung 3 erhalten wir für g den Werth

$$g = \frac{T \,.\, r \,.\, tang.\, u}{2\pi} \;.\;.\;.\;.\;.\; 4),$$

wir erhalten alſo einen Werth für die Stromſtärke g, gemeſſen durch das Drehungsmoment eines die Flächeneinheit umkreiſenden Stromes dieſer Stärke, in abſolutem Maaß ausgedrückt, wenn man für T ſeinen Werth in abſolutem Maaße ſetzt. —

Vergleichung der verſchiedenen Stromeinheiten. Theoretiſch 105
ſind dieſe drei verſchiedenen Einheiten der Stromſtärke vollkommen ſcharf beſtimmt, wenn man alſo nur vom rein wiſſenſchaftlichen Standpunkte aus die Sache betrachtet, erſcheint jede dieſer Einheiten annehmbar, der Vorzug gebührt aber von dieſem Standpunkte aus jedenfalls der Weber'ſchen Einheit.

Anders aber wird man wohl wählen müſſen, wenn man auch die praktiſchen Bedürfniſſe gehörig würdigt.

Die galvaniſchen Ketten ſind vielfach in die Technik eingetreten, es iſt alſo von hoher praktiſcher Bedeutung, Methoden zu beſitzen, nach welchen man die Conſtanten einer galvaniſchen Kette mit Genauigkeit beſtimmen kann. — Leider ſind ſolche Methoden bis jetzt noch ſehr wenig verbreitet, und ſo kommt es denn, daß wir von vielen verſchiedenen Conſtructionen galvaniſcher Apparate wohl Beſchreibungen ihrer Wirkſamkeit haben, aber keine ſolche, welche eine genaue Vergleichung derſelben mit andern Appa-

raten geſtatten, und eine Folge davon iſt, daß man ſich vielfach über den Werth galvaniſcher Apparate täuſcht.

Zur Ermittlung der Conſtanten der galvaniſchen Ketten muß man ſich vor allem über eine Stromeinheit verſtändigen, wenn die von verſchiedenen Beobachtungen an verſchiedenen Orten mit verſchiedenen Inſtrumenten gemachten Beobachtungen vergleichbar ſeyn ſollen. Soll aber eine ſolche Stromeinheit populär werden, ſoll ſie auch für Praktiker zugänglich ſeyn, welche zwar mit den Grundgeſetzen der Elektricitätslehre bekannt ſind, aber doch nicht in die Specialitäten der Wiſſenſchaft eindringen können, ſo darf man nur eine ſolche Stromeinheit wählen, deren Definition leicht und allgemein verſtändlich iſt; ferner muß dieſe Einheit aber auch eine ſolche ſeyn, daß die Beſtimmung der Stromſtärke nach derſelben mit einem möglichſt geringen Aufwand von Apparaten möglich iſt.

Von dieſem Geſichtspunkte aus muß man wohl der von Jakobi zuerſt in Anwendung gebrachten Stromeinheit unbedingt den Vorzug geben. — Ich will verſuchen dieſe Behauptung zu rechtfertigen.

106 **Reduction der Pouillet'ſchen Stromeinheit auf chemiſches Maaß.** Um die Angaben irgend einer Buſſole mit der Pouilet'ſchen Einheit zu vergleichen, muß man ein thermoelektriſches Element haben, welches genau gleich iſt dem von Pouillet angewandten, und muß dafür ſorgen, daß der Geſammtwiderſtand der Kette mit Inbegriff des Buſſolen- oder Multiplicatordrahtes gleich iſt dem Widerſtande eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes — Nun iſt aber der Strom, welchen ein ſolches thermoelektriſches Element unter den angegebenen Bedingungen hervorbringt, außerordentlich ſchwach, oder wenigſtens ungleich ſchwächer als die Ströme hydroelektiſcher Ketten, welche irgend einen praktiſch anwendbaren Effect liefern ſollen, an ſolchen Inſtrumenten alſo, an welchen man gewöhnlich die Stromſtärke hydroelektiſcher Ketten mißt, wie Tangenbuſſolen, Sinusbuſſolen, oder Mohr's Torſionsgalvanometer wird alſo die Pouillet'ſche Stromeinheit nur eine ſehr geringe Ablenkung hervorbringen. Dieſe Einheit der Stromſtärke bringt z. B. an einer Weber'ſchen Tangentenbuſſole, welche einen Ring von 40 Centimeter Durchmeſſer hat, eine Ablenkung von ungefähr 5 bis 7 Minuten, an Mohr's Torſionsgalvanometer eine Ablenkung von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Grad hervor, man müßte alſo an dieſen Inſtrumenten ſehr kleine Unterabtheilungen eines Grades noch mit Genauigkeit ableſen können, wenn man dieſen Ablenkungswinkel hinlänglich genau beſtimmen wollte, um ihn ſelbſt oder ſeine Tangente bei der Meſſung ſtärkerer Ströme als Einheit zu Grunde zu legen.

Da nun die Inſtrumente keine hinlänglich genaue Ableſung ſo kleiner

Winkel geſtatten, ſo muß man einen indirecten Weg einſchlagen. Am einfachſten möchte wohl folgende Methode zum Ziele führen:

Man laſſe den Strom des thermoelektriſchen Elementes, welcher als Einheit dienen ſoll, durch einen Multiplicator gehen und beobachte die hervorgebrachte Ablenkung: ſie ſey 16°. Der Geſammtwiderſtand iſt hier gleich dem Widerſtand eines 20 Meter langen Kupferdrahtes von 1mm Durchmeſſer.

Nun laſſe man auch den Strom eines hydroelektriſchen Elementes durch denſelben Multiplicator gehen, ſchalte aber in Form von Platin oder Neuſilberdraht ſoviel Widerſtand ein, daß die Ablenkung eben ſo groß iſt, als die von dem thermoelektriſchen Elemente hervorgebrachte, daß ſie in unſerem Beiſpiel alſo ebenfalls 16° beträgt.

Der Geſammtwiderſtand, welchen jetzt der hydroelektriſche Strom zu überwinden hat, muß ermittelt und auf Kupferdraht reducirt werden: er ſey gleich dem Widerſtand eines Kupferdrahtes von 1mm Durchmeſſer und einer Länge von 22000 Meter.

Macht man den Geſammtwiderſtand durch Wegnahme von Draht geringer, ſo wird der Strom in gleichem Maaße ſtärker werden. Macht man z. B den Widerſtand 200mal geringer, ſo alſo, daß der von dem Strom des hydroelektriſchen Elementes zu überwindende Geſammtwiderſtand nur noch gleich iſt dem Widerſtand eines 110 Meter langen Normalkupferdrahtes, ſo wird jetzt der Strom auch 200mal ſtärker ſeyn als derjenige, welcher am Multiplicator 16° Ablenkung hervorbrachte. Dieſer Strom wird an jedem zur Meſſung ſtärkerer Ströme geeigneten Inſtrumente, alſo auch an einer Weber'ſchen Tangentenbuſſole eine bedeutende Ablenkung hervorbringen; ſie ſey 19°.

Ein Strom alſo, welcher an der Tangentenbuſſole einen Ablenkungswinkel von 19° giebt, deſſen trigonometriſche Tangente = 0,344, iſt 200mal ſtärker als die Stromeinheit, die Tangente des Winkels, welcher die Stromeinheit entſpricht, iſt alſo $\frac{0,344}{200} = 0,00172$.

Nach dieſer Beſtimmung ſind nun alle Angaben der Tangentenbuſſole leicht auf die Pouillet'ſche Stromeinheit zu reduciren.

Pouillet wandte bei allen ſeinen Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand nicht Tangentenbuſſolen ſondern Sinusbuſſolen an.

Um in einer Minute 1 Gramm Waſſer zu zerſetzen, muß der durch das Waſſer hindurchgeleitete Strom eine Stärke = 13787 Pouillet'ſcher Einheiten haben. Ein jedes Gramm Waſſer liefert 1862,4 Kubikcentimeter Knallgas (von 0° und einem Luftdruck von 760mm); folglich iſt, um 1 Kubikcentim. Knallgas per Minute zu liefern, eine Stromſtärke von $\frac{13787}{1862,4} = 7,4$ Pouillet'ſchen Einheiten nöthig.

Die obigen Auseinanderſetzungen werden wohl genügen, um darzuthun, daß die Reduction der Angaben irgend eines für ſtärkere Ströme brauchbaren Rheometers auf die Pouillet'ſche Stromeinheit nur durch eine ganze Reihe keineswegs ganz einfacher Operationen erhalten werden kann. Zunächſt muß man den Widerſtand des thermo-elektriſchen Elementes, und des Multiplicators beſtimmen und ſo viel Widerſtand noch hinzufügen, daß die Summe der Widerſtände den oben angegebenen Werth hat, ſodann muß man den Leitungswiderſtand des hydroelektriſchen Elementes ermitteln, und nachdem man in ſeinen Schließungsbogen noch ſo viel Widerſtand eingeſchaltet hat, die Größe dieſes Widerſtandes beſtimmen; dann muß man den Geſammtwiderſtand wieder auf einen aliquoten Theil vermindern und die entſprechende Ablenkung eines für ſtärkere Ströme anwendbaren Rheometers beobachten u. ſ. w. — Man kommt alſo hier nur auf vielen Umwegen zum Ziel, und da bei jeder Operation Beobachtungsfehler unvermeidlich ſind und ſich dieſelben im Endreſultat ſummiren, ſo hat alſo die Complicirtheit des Verfahrens auch einen nachtheiligen Einfluß auf die Genauigkeit des Reſultates.

Die oben mitgetheilte Vergleichung der Pouillet'ſchen Stromeinheit mit chemiſchem Effect giebt uns freilich ein Mittel an die Hand, weit leichter die Angaben eines Rheometers in dieſe Stromeinheit zu verwandeln; man hat nur gleichzeitig den Strom durch das Rheometer und einen Waſſerzerſetzungsapparat gehen zu laſſen, um zu ermitteln, wie viel Knallgas in einer Minute entwickelt wird, während das Rheometer eine beſtimmte Gradzahl angiebt. Da jedes Kubikcentimeter Knallgas 7,4 Pouillet'ſchen Einheiten entſpricht, ſo weiß man nun alſo auch, wie viel Pouillet'ſche Stromeinheiten der beobachteten Ablenkung des Rheometers entſpricht. — Hier hat man aber doch nur dem Wort nach die Pouillet'ſche Einheit in Anwendung gebracht. In der That hat man doch nur die Ablenkung des Rheometers mit dem chemiſchen Effect verglichen und es iſt kein Grund einzuſehen, warum man nicht bei dieſer Vergleichung ſtehen bleiben ſoll.

107 **Reduction der Weber'ſchen Stromeinheit auf chemiſches Maaß.** Die Definition von Weber's abſolutem Maaß der Stromſtärke iſt keineswegs eine ſo einfache zu nennen, daß man hoffen dürfte, den richtigen Begriff dieſer Einheit in weiteren Kreiſen geläufig zu machen. Von dieſem Uebelſtand könnte man aber noch abſehen, wenn nur die Beſtimmung der Stromſtärke nach dieſem abſoluten Maaße leicht auszuführen wäre.

Hat man an einer Weber'ſchen Tangentenbouſſole (die nicht weniger als 40 Centimeter Durchmeſſer haben darf) den Ablenkungswinkel abge-

leſen, den ein Strom hervorbringt, ſo erhält man den Strom ſtärker in abſolutem Maaße ausgedrückt durch die Formel

$$g = \frac{T . r . \, tang\, u}{2\pi};$$

nach dieſer Formel ergiebt ſich allerdings der Werth der Stromſtärke ſehr leicht, wenn man nur den richtigen Werth von T kennt, d. h. wenn man weiß, wie groß am Beobachtungsorte der horizontale Theil der Intenſität des Erdmagnetismus, in abſolutem Maaß ausgedrückt, iſt.

Die Beſtimmung von T (Lehrbuch der Phyſik 3. Aufl. 2. Bd.) hat freilich für den Phyſiker von Fach keine weiteren Schwierigkeiten, für manchen Techniker aber, welcher die Stromſtärke ſeiner Kette beſtimmen will, iſt ſie doch zu complicirt, ſie iſt wenigſtens weit ſchwieriger ausführbar als die Vergleichung der Angaben eines Rheometers mit der chemiſchen Wirkung des Stromes in der von Jakobi angewandten Weiſe. Es wäre freilich nicht gerade nöthig, den Werth von T durch Verſuche am Beobachtungsort zu ermitteln, man könnte ihn aus den magnetiſchen Karten von Gauß entnehmen, wenn man überzeugt ſeyn könnte, daß an dem Beobachtungsort die Wirkung der horizontalen magnetiſchen Erdkraft nicht durch das Eiſen modificirt wird, welches ſich im Locale befindet, und welches in der That bedeutende Veränderungen von T hervorbringen kann. So ergiebt ſich z. B. ſowohl aus den Gauß'ſchen Karten als auch aus directen Beobachtungen, die im Freien angeſtellt wurden, daß T für Marburg $= 1{,}88$ iſt, während Kaſſelmann den Werth von T in dem Locale, in welchem er die Verſuche zur Vergleichung der Stromſtärke verſchiedener galvaniſchen Ketten anſtellt, gleich 1,83 fand (über die galvaniſche Kohlenzinkkette von Kaſſelmann, Marburg 1844 pag. 75); es iſt alſo unumgänglich nöthig, in dem Locale ſelbſt, in welchem man die Verſuche über Stromſtärke anſtellt, auch den Werth von T zu ermitteln.

Weber's Stromeinheit zerſetzt in der Secunde 0,000009376 Grm. Waſſer; in der Minute alſo 0,00056256 Grm., oder was daſſelbe iſt, dieſe Stromeinheit liefert in der Minute 1,0477 Kubikcentimeter Knallgas.

Um die Stromſtärke nach dieſem abſoluten Maaße zu beſtimmen, bedarf man nothwendig einer Weber'ſchen Tangentenbouſſole, deren Ring nicht viel weniger als 40 Centimeter Durchmeſſer haben darf, während man Rheometer verſchiedener Art anwenden kann, wenn man als Einheit der Stromſtärke denjenigen Strom zu Grunde ſetzt, welche in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas liefert. —

Sehen wir nun, wie man zu verfahren hat, um die Angaben der Rheometer auf dieſe Einheit zu beziehen.

Beſtimmung der Stromſtärke nach chemiſchem Maaß. Um die 108

magnetiſche Wirkung des Stromes im Rheometer auf chemiſchen Effect zu reduciren, hat man nur gleichzeitig den Strom durch einen Waſſerzerſetzungsapparat und das Rheometer gehen zu laſſen; am zweckmäßigſten wendet man ein Voltameter an, welches die beiden Gaſe als Knallgas gemiſcht giebt.

Ein Strom, der z. B. durch ein Mohr'ſches Torſionsgalvanometer und einen Waſſerzerſetzungsapparat ging, lieferte in einer Minute 40 Cubikcentimeter Knallgas, während die entſprechende Torſion des Galvanometers 490° betrug.

Da die Torſion dieſes Galvanometers ſtets der Stromſtärke proportional iſt, ſo wäre zur Bildung von 1 Kubikcentimeter Knallgas ein Strom nöthig, der eine Torſion von $^{490}/_{40} = 12,2$ . .° entſpricht, oder jeder Grad Torſion entſpricht $^{40}/_{490} = 0,0816$ Kubikcentimetern Knallgas. Um alſo die an dieſem Galvanometer abgeleſene Gradzahl auf die Jakobi'ſche Einheit zurückzuführen, hatte man alſo dieſelbe nur mit 0,0816 zu multipliciren. Einer Torſion von v^0 entſpricht alſo die Stromſtärke 0,0816 v.

Ganz ähnlich iſt zu verfahren, wenn man die Angaben der Tangentenbuſſole auf chemiſchen Effect ruduciren will. An einem ſolchen Inſtrumente wurde z. B. eine Ablenkung von 22° beobachtet, während in einer Minute 30,8 Kubikcentimeter Knallgas entwickelt wurden. Da die Temperatur 15° C. war und der Barometerſtand 740 Millimeter betrug, ſo iſt dieſe Gasmenge auf 0° und einen Druck von 760^{mm} reducirt gleich 28,18 Kubikcentimeter.

Da bei dieſem Inſtrument die Stromſtärken der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ſind, ſo iſt die Tangente von 22° alſo 0,404 der Gasmenge 28,18 entſprechend, der Tangente 1 entſpricht alſo die Gasmenge $\frac{28,18}{0,404} = 69,7$, man hat alſo die Tangente irgend eines an dieſem Inſtrumente abgeleſenen Ablenkungswinkels mit 69,7 zu multipliciren, um zu erfahren, wie viel Kubikcentimeter Knallgas der Strom per Minute geliefert haben würde, wenn er in dieſer Stärke durch einen Waſſerzerſetzungsapparat gegangen wäre; dem Ablenkungswinkel v entſpricht alſo nach unſerer chemiſchen Stromeinheit die Stomſtärke 69, 7 $tang.\ v$.

In ähnlicher Weiſe iſt es auch leicht, die Angabe einer Sinusbuſſole auf dieſe Einheit zu reduciren.

Der Factor, mit welchem man die Angaben eines Rheometers multipliciren muß, um die Stromſtärke in chemiſchem Maaße ausgedrückt zu erhalten, muß natürlich mit großer Genauigkeit ermittelt werden, es reicht dazu alſo ein einziger Verſuch nicht aus; man muß eine Reihe von Verſuchen mit verſchiedenen Stromſtärken machen, aus jedem den Factor be-

rechnen, und aus den ſo erhaltenen Werthen das Mittel nehmen. Die verſchiedene Stromſtärke wird am leichteſten erhalten, wenn man anfangs mit einer ſolchen Kette operirt, welche eine ſtarke Waſſerzerſetzung liefert, und alsdann den Strom durch Wegnahme einzelner Elemente ſchwächt.

Eine ſolche Verſuchsreihe, welche Mohr mit ſeinem Torſionsgalvanometer anſtellte, gab folgende Reſultate.

Anzahl der Zellen.	Torſion des Galvanometers.	Entwickeltes Knallgas in einer Minute.	Gasmenge, welche einem Torſionsgrad entſpricht.
8	530°	44,5KC	0,08399
8	587	46	0,07836
8	429	37	0,08624
7	520	41	0,07884
7	490	40	0,08163
7	409	33,5	0,08278
6	423	35	0,08278
6	357	30	0,08403
5	338	29	0,08508
5	337,5	28,5	0,08444
5	315	26	0,08254
4	277	23,5	0,08483
4	263,5	23	0,08728
3	181	16	0,08838
3	181	15,75	0,08701
3	174	15	0,08621
2	85	7	0,08235
			Mittel 0,08386

Da die magnetiſche und die chemiſche Wirkung ſtets proportional iſt, ſo müßte, wenn keine Beobachtungsfehler vorkämen, der Quotient aus der Gradzahl in die Gasmenge immer denſelben Werth haben; das iſt jedoch nur annähernd der Fall. Das Mittel aus allen Quotienten aber iſt 0,08386; man erhält alſo die Stromſtärke in chemiſchem Maaß ausgedrückt, wenn man die am Inſtrument abgeleſene Gradzahl v mit 0,08386 multiplicirt, oder es iſt

$$S = 0{,}08386\ v.$$

Betrachten wir noch eine ähnliche Verſuchsreihe, welche angeſtellt wurde, um die Beziehungen zweier Tangentenbuſſolen zur chemiſchen-Einheit zu ermitteln. Der Strom wurde gleichzeitig durch den Waſſerzerſetzungsapparat und zwei Tangentenbuſſolen geleitet, von denen die größere einen Ring von 38, die kleinere einen ſolchen von 30 Centimeter Durchmeſſer hatte. Damit die

Nadeln beider Buſſolen keinen Einfluß auf einander ausüben konnten, waren ſie in einer Entfernung von 25 Fuß von einander aufgeſtellt. Folgende ſind die Beobachtungsreſultate.

Zahl der Erregungszellen	Ablenkung		Entwickelte Gasmengen in 3′
	gr. Buſſ.	kl. Buſſ.	
12	28,5	31	125
8	24,8	27,35	106
6	22	23,5	92,5
4	18,75	20,4	78
3	13,75	16,07	56
2	5,9	6.5	23,7

Während des Verſuchs, d. h. während der drei Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, ſchwankte die Nadel nur ſehr wenig, ſie ging regelmäßig zurück, doch war der Rückgang in 3′ höchſtens $\frac{1}{2}$°. Die Gradzahlen der Tabelle ſind ſtets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der 3′ abgeleſenen Winkeln.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entſprechende Gasmenge einer Minute dividirt, ſollte eigentlich eine conſtante Größe ſeyn, welche angiebt, wie viel Gas per Minute ein Strom entwickelt, der an der Tangentenbuſſole eine Ablenkung von 45° hervorbringt (weil *tang*. 45° = 1). Aus den verſchiedenen Verſuchen ergiebt ſich folgender Werth dieſes Quotienten.

Zahl der Beobachtung.	Quotient für die	
	große Buſſole.	kleine Buſſole.
1	76,7	69,3
2	76,5	71,0
3	76,2	70,9
4	76,6	69.8
5	76.3	69,3
6	76.6	69,3
Mittel	76,5	70

Während dieſer Verſuche war die Temperatur im Zimmer 15° C. und der Barometerſtand betrug 744^{mm}. Das Gas wurde in einer graduirten Röhre aufgefangen und der Waſſerſpiegel in der Röhre ſtand ungefähr 10 Centimeter höher als außen, was einer Druckhöhe von 7^{mm} Queckſilber

gleichzuſetzen iſt. Das Gas ſtand alſo unter einem Drucke von 733^{mm}. Auf 0° Temperatur und einen Barometerſtand von 760^{mm} reducirt, ſind demnach die aus den Beobachtungen bei 15° und 733^{mm} abgeleiteten Gasmengen 76,5 K.-C. und 70 K.-C. gleich 69,94 und 64,01 Kubikcentimetern oder in runden Zahlen 70 und 64.

Ein Strom alſo, welcher an der großen Buſſole eine Ablenkung von 45° hervorbringt, wird in der Minute 70, ein ſolcher, der an der kleinen Buſſole dieſelbe Ablenkung hervorbringt, wird in der Minute 64 Kubikcentimeter Knallgas von 0° Temperatur und einer Spannkraft von 760^{mm} liefern.

Nach chemiſchem Maaße iſt alſo die Stromſtärke eines Stromes, welcher eine Ablenkung von v^0 an der großen Tangentenbuſſole hervorbringt

$$S = 70 \; tang. \; v.$$

Ein Strom, welcher eine Ablenkung von u Graden an der kleinen Tangentenbuſſole hervorbringt, hat nach chemiſchem Maaß eine Stromſtärke

$$S' = 64 \; tang. \; u.$$

Der conſtante Factor zur Reduction der Angaben eines Torſionsgalvanometers, einer Weber'ſchen Tangentenbuſſole oder einer Sinusbuſſole kann man alſo mittelſt einer leicht ausführbaren Verſuchsreihe erhalten. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß dieſer Reductionsfactor immer nur für ein ſpecielles Exemplar eines Rheometers gelten kann, und daß er ſelbſt für dieſes ſpecielle Inſtrument nur ſo lange gilt, als man die Verſuche an demſelben Orte anſtellt. Brächte man z. B. die Buſſole von Freiburg nach Marburg, ſo würde der Reductionsfactor einen andern Werth erhalten, weil die horizontale Intenſität des Erdmagnetismus in Marburg geringer iſt, weil alſo ſchon ein ſchwächerer Strom, der weniger Knallgas liefert, eine Ablenkung von 45° bewirkt.

Die oben mitgetheilten Beobachtungsreihen liefern uns nun auch einen Beleg, daß die Weber'ſche Tangentenbuſſole nur dann zur Beſtimmung der Stromſtärke nach abſolutem Maaß brauchbar iſt, wenn ihr Durchmeſſer nicht bedeutend kleiner iſt als 40 Centimeter (bei einer Nadellänge von 3 Centimeter). Nach der Formel 4, Seite 243, iſt bei gleichem Ablenkungswinkel der Tangentenbuſſole die Stromſtärke dem Radius des Ringes proportional. Die Ströme, welche in den beiden bisher beſprochenen Buſſolen eine Ablenkung von 45° hervorbringen, ſollten ſich verhalten wie 38 zu 30. Der Quotient dieſer Durchmeſſer iſt 1,2666, während der Quotient der entſprechenden Stromſtärke iſt $\frac{70}{64} = 1,0937$.

Hat man den Reductionsfactor einer größeren Tangentenbuſſole durch

genaue Verſuche ermittelt, ſo kann man aus demſelben die horizontale Intenſität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte berechnen. Der Strom, welcher an unſerer größeren Buſſole (380^{mm} Durchmeſſer) eine Ablenkung von 45^0 hervorbringt, hat nach chemiſchem Maaß die Stromſtärke

$$70$$

nach abſolutem Maaß iſt die Stromſtärke

$$g = \frac{T\,.\,190}{2\,.\,3{,}14}.$$

Das chemiſche Maaß verhält ſich aber zum abſoluten Maaß wie 1 : 1,0477; nach abſolutem Maaß hat alſo jener Strom den Zahlenwerth $\frac{70}{1{,}0477} = 66{,}813$. Wir haben alſo

$$66{,}813 = \frac{T\,.\,190}{2\,.\,3{,}14}$$

und daraus

$$T = 22{,}083.$$

Nach den Karten iſt der Werth von T für Freiburg 22,1, was mit dem oben berechneten ſehr gut übereinſtimmt.

Um die Größe des chemiſchen Effectes zu ermitteln, welchen ein Strom hervorbringt, könnte man auch, ſtatt die Menge des gebildeten Knallgaſes dem Volumen nach zu meſſen, die Menge des zerſetzten Waſſers dem Gewicht nach beſtimmen, wie es Kaſſelmann (Ueber die galvaniſche Kohlenzinkkette, S. 68) gethan hat, und danach das Volumen der gebildeten Gasmenge berechnen. Dieſe Beobachtungsweiſe iſt einer großen Genauigkeit fähig und ſie iſt deshalb jedem zu empfehlen, welchem eine genaue Waage zu Gebote ſteht. Die oben mitgetheilten Verſuche liefern jedoch den Beweis, daß auch die directe Meſſung der Gasvolumina ſehr genaue Reſultate giebt.

109 **Widerſtand des Elementes.** Die Stromſtärke einer galvaniſchen Combination kann mittelſt eines Rheometers direct gemeſſen und nach den ſo eben mitgetheilten Grundſätzen auf eine beſtimmte Einheit, wozu, der allgemeinen Verbreitbarkeit wegen, die chemiſche Einheit am zweckmäßigſten iſt, reducirt werden. Die Kenntniß der Stromſtärke aber, welche der Apparat in einem beſonderen Fall bei einer beſtimmten Größe des außerweſentlichen Widerſtandes liefert, reicht nicht hin, um die Wirkung des Apparates in allen Fällen beſtimmen zu können; zu dieſem Zweck muß der weſentliche Widerſtand der Kette und die elektromotoriſche Kraft derſelben bekannt ſein. Gehen wir zunächſt zur Beſtimmung des weſentlichen Widerſtandes über.

Die Widerſtände müſſen ſo gut wie die Stromſtärke auf eine beſtimmte Einheit bezogen werden, wenn die Reſultate verſchiedener Experi-

mentatoren vergleichbar ſein ſollen. Auch hier ſind verſchiedene Einheiten in Vorſchlag und Anwendung gebracht worden. Mehrere Phyſiker nehmen als Einheit des Widerſtandes den Widerſtand eines Kupferdrahts an, welcher 1 Meter lang iſt und einen Durchmeſſer von 1^{mm} hat. Dieſe Einheit werde ich in der Folge ſtets zu Grunde legen.

Um den Widerſtand der Kette zu ermitteln, muß man bekanntlich die Stärke des Stromes meſſen, wenn der Reihe nach verſchiedene Widerſtände in den Schließungsbogen eingeſchaltet ſind.

Man muß alſo zunächſt den Widerſtand der eingeſchalteten Drahtſtücke auf die angenommene Einheit zurückführen. Dies wäre nun am einfachſten, wenn man zur Einſchaltung nur Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer und verſchiedener Länge anwendete; für ein 10, 15, 20 u. ſ. w. Meter langes Stück dieſes Normaldrahtes wäre dann der Widerſtand gleich 10, 15, 20 u. ſ. w. Da es aber ſchwer hält, Draht zu bekommen, welcher genau dieſen Durchmeſſer hat, ſo wendet man Drähte an, welche nahezu dieſen Durchmeſſer haben, mißt denſelben genau und berechnet dann, wie lang ein Kupferdraht ſeyn müßte, welcher bei 1^{mm} Durchmeſſer denſelben Widerſtand äußert. Bei der Berechnung des weſentlichen Widerſtandes der Kette bringt man dann dieſe reducirte Drahtlänge in Anwendung.

Der Querſchnitt unſeres Normaldrahts hat einen Querſchnitt von 0,785□^{mm}. Da nun bei gleichem Widerſtand die Länge der Drähte im Verhältniß ihrer Querſchnitte wachſen muß, ſo iſt klar, daß ein l Meter langer Kupferdraht, deſſen Radius r und deſſen Querſchnitt alſo πr^2 iſt, denſelben Widerſtand leiſtet wie ein Normaldraht von der Länge

$$L = \frac{l\, 0{,}785}{\pi r^2}$$

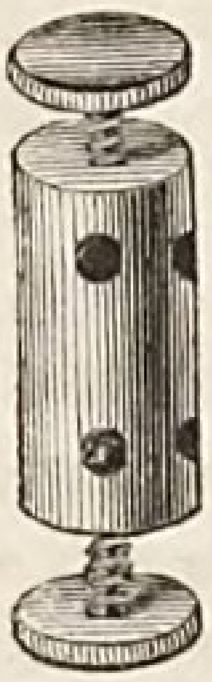
hier iſt alſo L die reducirte Drahtlänge. Ein Draht z. B., welcher einen Durchmeſſer von 0,74^{mm}, alſo einen Querſchnitt von 0,43 Quadratmillimetern und eine Länge von 6 Metern hat, wird alſo denſelben Widerſtand leiſten, wie ein $\frac{6\,.\,0{,}785}{0{,}43} = 10{,}95$ Meter langer Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer; 10,95 iſt alſo die reducirte Länge des zum Verſuch angewandten Drahtes.

Von dieſem Einſchaltungsdraht von Kupfer hält man ſich mehrere Stücke von verſchiedener Länge, etwa 5, 10, 20 u. ſ. w. Meter lang für dergleichen Verſuche ein für alle Mal bereit. Statt längerer Drahtſtücke von Kupfer wendet man zweckmäßiger kürzere Drahtſtücke von ſchlechter leitenden Metallen an, wie Platin, Eiſen oder Neuſilber; ihren Widerſtand auf Normaldraht reducirt, muß man aber alsdann durch den Verſuch ermitteln. Drähte bis zu ungefähr 10 Meter

Länge kann man bequem in die Schraubengänge aufwinden, welche in einen Holzcylinder von 2 bis 3 Zoll Durchmeſſer und entſprechender Länge eingeſchnitten ſind. Längere Drähte wendet man mit Seide überſponnen und auf Holzrollen aufgewickelt an. Auf dieſe Holzcylinder oder Holzrollen kann man dann gleich die auf Normaldraht reducirte Länge der Drahtſtücke aufſchreiben, ſo daß man in der Folge keine Reductionsrechnungen für die eingeſchalteten Drähte mehr nöthig hat.

Um den Draht bequem in den Schließungsbogen einzuſchalten, kann man Drahtklemmen anwenden, wie ſie in Fig. 92 abgebildet ſind.

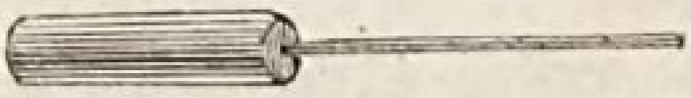
Fig. 92.



Wie dieſe Schraubenklemmen anzuwenden ſind, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung.

Um auch dicke Drähte in die Löcher der Schraubklemmen befeſtigen zu können, müſſen aber dieſe Löcher wenigſtens 1 Linie im Durchmeſſer haben. Dadurch iſt aber das Feſtklemmen dünner Drähte etwas erſchwert und bei öfterem Gebrauche derſelben läuft man Gefahr, die Enden dieſer Drähte abzuquetſchen. Da nun aber die Einſchaltungsdrähte nicht gar zu dick ſeyn dürfen und immer dieſelbe Länge behalten ſollen, ſo thut man wohl, die Enden der Drähte in etwa 2,5 Millimeter dicke Hülſen von Kupfer oder Meſſing einzulöthen (Fig. 93), die man dann bequem in die Löcher der Schraubklemmen feſtſchrauben kann.

Fig. 93.



Nörrenberg wendet zur metalliſchen Verbindung von Drahtſtücken Drahtfedern an, wie ſie in Fig. 94 und Fig. 95 dargeſtellt ſind. Dieſe

Fig. 94.

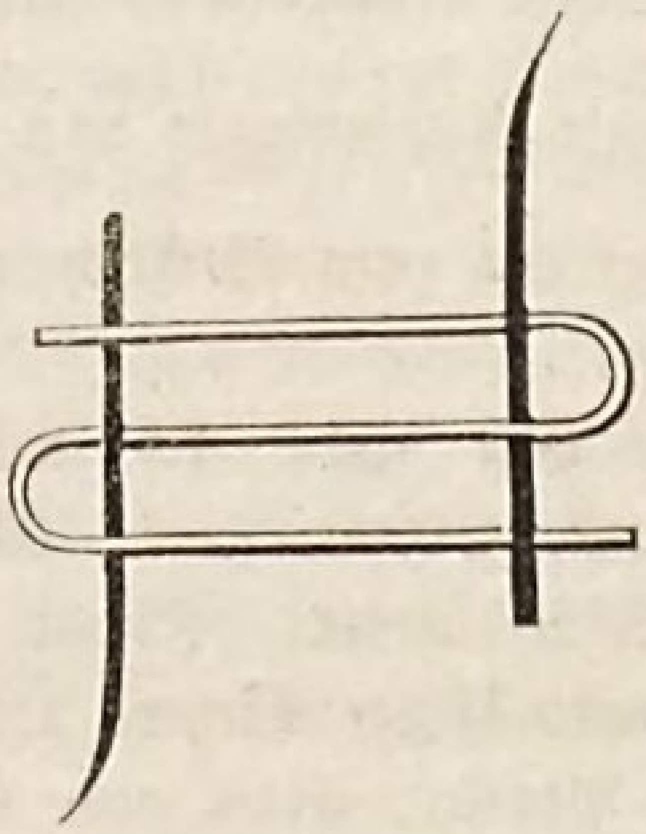
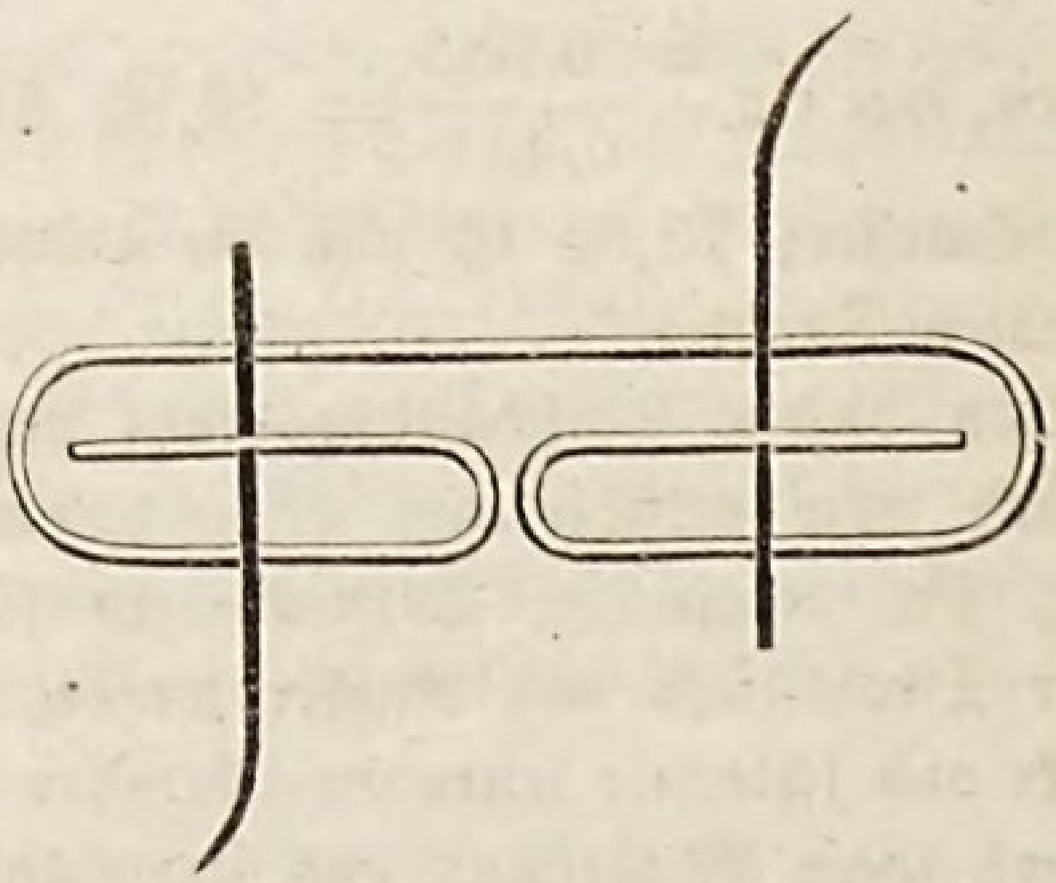


Fig. 95.



Drahtfedern ſind namentlich deshalb zu empfehlen, weil die Verbindung

und die Trennung mittelſt derſelben ſehr leicht und ſchnell vollzogen werden kann.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man zur Einſchaltung verſchieden langer Drahtſtücke mit Vortheil auch einen Rheoſtaten anwenden kann.

Bezeichnen wir mit E die elektromotoriſche Kraft der galvaniſchen Kette, mit R den weſentlichen Leitungswiderſtand, ſo iſt nach dem Ohmiſchen Geſetz die Stromſtärke

$$s = \frac{E}{R} \; \ldots\ldots \; 1)$$

bei vollkommen metalliſcher Schließung, d. h. bei ſolcher, deren Leitungswiderſtand gegen den des Elements vernachläſſigt werden kann. Schaltet man die reducirte Drahtlänge l ein, ſo wird nur die Stromſtärke

$$s' = \frac{E}{R + l} \; \ldots\ldots \; 2).$$

Hier iſt s, s' durch die Beobachtung gegeben, außerdem iſt noch l bekannt, man kann alſo aus dieſen beiden Gleichungen E eliminiren und den Werth von R berechnen. Die folgenden Tabellen geben eine Reihe von Beobachtungen, welche zur Ermittelung des Leitungswiderſtandes verſchiedener Ketten angeſtellt wurden:

Bunſen'ſche Kette von Deleul.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	R	E
	Meter					
1	0 68,7	33° 30' 8°	0,7133 0,1405	49,931 9,835	16,8	883
2	0 7,2	24° 52' 20° 7'	0,463 0,366	32,41 25,62	27,16	880
3	0 50,7	24° 52' 9°	0,463 0,158	32,41 11,06	26,10	847
					Mittel	855
4	0 7,2	57 38	1,54 0,781	107,8 54,67	7,44	802
5	0 29,2	57 17,8	1,54 0,321	107,8 22,47	7,72	832
6	0 49	57 11,8	1,54 0,21	107,8 14,7	7,74	834
					Mittel	823
			Mittel aus allen 6 Beobachtungen			839

Bunſen'ſche Kette von Stöhrer.

	Einſchaltung	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	*R*	*E*
	Meter					
1	0 68,7	61 8,5	1,804 0,149	121,24 10,43	6,2	783
2	0 68,7	31,5 7,25	0,613 0,127	42,91 8,86	18	772
					Mittel	777

Grove'ſche Kette.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung	Stromſtärke.	*R*	*E*
	Meter					
1	0 7,2	30,8 23,5	0,596 0,435	41,7 30,4	19,4	809
2	0 29,2	30,8 13,7	0,596 0,245	41,7 17,1	20,4	851
3	0 49	30,8 9,7	0,596 0,171	41,7 12,0	19,8	828
					Mittel	829

Daniell'ſche Kette.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	*R*	*E*
	Meter					
1	0 68,7	32 5,45	0,625 0,101	43,75 7,07	11,1	486
2	0 7,2	16,8 12,75	0,302 0,266	21,14 15,82	21,5	454
					Mittel	470

Smee'ſches Element.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	R	E
	Meter					
1	0	26°	0,488	34,16	5,3	181
	7,2	12,25	0,217	15,19		
2	0	26	0,488	34,16	7	239
	29,2	5,25	0,092	15,19		
					Mittel	210

Wollaſtone'ſches Element.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	R	E
	Meter					
1	0	23,6	0,437	30,58	6,3	193
	7,2	11,6	0,205	14,17		
2	0	23,6	0,437	30,58	7,3	223
	29,2	5	0,087	6,12		
					Mittel	208

In der letzten Verticalreihe ſtehen die berechneten Werthe der elektromotoriſchen Kraft, welche ſpäter beſprochen werden ſoll. Zu den einzelnen Verſuchen, deren Ergebniſſe in der Tabelle aufgenommen ſind, müſſen noch einige Erläuterungen beigefügt werden.

Die unter der Aufſchrift Einſchaltung angegebenen Zahlen geben gleich die reducirte Länge der eingeſchalteten Drahtſtücke an.

Die Schwefelſäure, welche bei dem erſten Verſuch mit der von Deleuil verfertigten Zinkkohlenkette angewandt wurde, war ungefähr mit der 10fachen Waſſermenge verdünnt; bei den Verſuchen 2 und 3 war ſchon gebrauchte und noch weit mehr verdünnte Schwefelſäure in Anwendung gebracht worden. Die Salpeterſäure hatte ein ſpecifiſches Gewicht 1,18.

Bei den drei letzten Verſuchen war die Schwefelſäure mit der 5fachen Waſſermenge verdünnt, die Salpeterſäure hatte ein ſpecifiſches Gewicht von 1,36.

Bei den Verſuchen mit der von Stöhrer conſtruirten Zinkkohlenkette wurde die gleiche Säure gebraucht, wie bei dem erſten Verſuche mit der Deleuil'ſchen; der bedeutende Unterſchied im Widerſtande des Elements in beiden Verſuchen liegt alſo hier nicht in der Natur der Säure, ſondern

er iſt durch die poröſen Zellen veranlaßt. Bei dem zweiten Verſuch mit der Stöhrer'ſchen Kette wurden nämlich nicht ſeine eigenen, ausgezeichnet guten, aber leider ſehr zerbrechlichen Zellen angewandt, ſondern irdene Zellen, welche ein hieſiger Hafner gemacht hatte. Durch die Anwendung dieſer rothen irdenen Zellen wurde der Widerſtand des Elements auf das dreifache geſteigert, woraus man erſieht, welchen bedeutenderen Einfluß die Thonzellen auf den Leitungswiderſtand des Elementes und alſo auch auf die Stromſtärke haben.

Bei der Daniell'ſchen Kette wurden ebenfalls die rothen Thonzellen in Anwendung gebracht, bei dem erſten Verſuch ſtand das Zink in einer Miſchung von 1 Theil Schwefelſäure auf 10 Theile Waſſer; bei dem letzten Verſuche wurde ſchon gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure angewandt.

Damit die Tangentenbuſſole einen ſicheren Stand hat, war dieſelbe auf ein dickes eichenes Brett geſtellt worden, welches in einer Fenſterniſche auf beiden Seiten eingemauert iſt, ſo daß das Gehen in der Stube keine Erſchütterungen der Nadel hervorbringt. Von der Tangentenbuſſole gehen dicke kupferne Leitungsdrähte an der Wand her, an welcher ſie ein für allemal befeſtigt ſind, über eine Thüre zu dem Tiſch, auf welchem die Kette ſteht.

Der Widerſtand dieſer ganzen Drahtleitung ſammt der Tangentenbuſſole iſt gleich 1,75; d. h. er iſt gleich dem Widerſtand eines 1^{mm} dicken und 1,75 Meter langen Kupferdrahtes. Dieſer Widerſtand iſt bei den in obiger Tabelle mitgetheilten Werthen von R dem weſentlichen Widerſtand des Elementes noch beigerechnet, die wahren Werthe von R ſind alſo ſtets um 1,75 kleiner; wir erhalten alſo

für die Deleuil'ſche Kette

1) $R = 15{,}05$ (10 Waſſer, 1 Schwefelſäure)
2) $R = 24{,}88$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure)
3) $R = 5{,}85$ (5 Waſſer, 1 Schwefelſäure);

für die Stöhrer'ſche Kette

1) $R = 4{,}45$ (weiße Zellen) } 10 Waſſer
2) $R = 16{,}25$ (rothe Zellen) } + 1 Schwefelſäure;

für die Daniell'ſche Kette

1) $R = 9{,}35$ (10 Waſſer, 1 Schwefelſäure)
2) $R = 19{,}75$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Schwefelſäure.

Der Widerſtand des Elementes hängt von der Natur der Flüſſigkeiten und von der Größe der Plattenpaare ab; um alſo die Leitungsfähigkeit verſchiedener galvaniſcher Combinationen gehörig vergleichen zu können, muß man den Widerſtand auf gleiche Größe der Plattenpaare reduciren,

man muß alſo die Oberfläche der Plattenpaare der Elemente kennen, mit welchen man den Verſuch angeſtellt hat.

Die oben beſprochenen galvaniſchen Elemente haben folgende Dimenſionen.

Deleuil'ſches Element.

	Durchmeſſer	Höhe	Flächeninhalt
Zink	3,7 cent.	10 cent.	1,16□dm
Kohle	5,5	9,5	1,61
			Mittel 1,38.

Stöhrer'ſches Element.

Zink	5	12	1,88
Kohle	7	15	3,40
			Mittel 2,64.

Daniell'ſches Element.

Zink	15	21	9,76
Kupfer	10	22	6,81
			Mittel 8,34.

Als Höhe der Cylinder iſt hier die Höhe des in der Flüſſigkeit ſtehenden Theiles derſelben angegeben. — Bei den Stöhrer'ſchen Kohlencylindern iſt auch der Boden bis auf ein Loch in der Mitte geſchloſſen, die innere Oberfläche des Bodenſtücks mußte demnach der Oberfläche des Kohlencylinders beigezählt werden.

Um die Oberflächen verſchiedener Elemente bequemer vergleichen zu können, iſt das Mittel aus dem poſitiven und negativen Cylinder ermittelt worden, wir wollen es die mittlere Oberfläche des Elementes nennen. Auf 1 Quadratdecimeter mittlerer Oberfläche reducirt, ergeben ſich folgende Widerſtände.

a) Deleuil'ſches Element 21
b) Stöhrer'ſches Element 12
c) Stöhrer'ſches Element 43
d) Daniell'ſches Element 78
e) Wollaſton'ſches Element. . . . . 13,6.

Bei gleicher Oberfläche würden ſich alſo die Widerſtände der Elemente wie die hier mitgetheilten Zahlen verhalten.

Der Werth 21 des Widerſtandes des Deleuil'ſchen Elementes für 1□dm mittlere Oberflächen bezieht ſich auf den Fall, daß der Zinkcylinder in einer Miſchung von 1 Theil Schwefelſäure auf 10 Theile Waſſer ſteht.

Die für das Stöhrer'ſche Element angegebenen Zahlen beziehen ſich auf dieſelbe Flüſſigkeit, und zwar die unter b) angegebene Zahl für Leip=

ziger, die unter c) angegebene Zahl für rothe Thonzellen. Der Widerſtand der Daniell'ſchen Kette gilt für denſelben Verdünnungsgrad der Schwefelſäure und für rothe Zellen.

Wenn bei gleicher Oberfläche und gleicher Flüſſigkeit der Widerſtand des Deleuil'ſchen Elementes (a) ſich zu dem des Stöhrer'ſchen (b) verhält wie 21 : 12, ſo liegt dieſe Verſchiedenheit lediglich in der Ungleichheit der Thonzellen.

Durch Anwendung rother Thonzellen (c) ſtatt der weißen (b), wird der Leitungswiderſtand des Elements im Verhältniß von 12 : 43 vermehrt, er wird 3,6mal größer. Es läßt ſich alſo erwarten, daß durch Anwendung von Leipziger Thonzellen der Widerſtand der Zinkkupferkette 3,6mal geringer wird als bei Anwendung der irdenen Zellen, daß er alſo für 1 Quadratdecimeter der mittleren Oberfläche $\frac{78}{3,6} = 21,6$.

Das Wollaſton'ſche Element war in eine Flüſſigkeit getaucht, welche 1 Theil Schwefelſäure auf 20 Theilen Waſſer enthielt. Als 1 Quadratdecimeter Zink eingetaucht war, ergab ſich der Widerſtand (Tabelle S. 257), im Mittel gleich 6,8. Da aber jede Zinkſeite wirkſam iſt, ſo iſt alſo 6,8 der Widerſtand für eine wirkſame Zinkoberfläche von 2 Quadratdecimetern; für 1 Quadratdecimeter iſt alſo der Widerſtand 13,6; für ſtärkere Säure würde natürlich der Widerſtand bedeutend abnehmen.

110 **Elektromotoriſche Kraft.** Mittelſt der beiden Gleichungen 1 und 2 auf Seite 255 kann man ſowohl den Widerſtand R des Elementes als auch die elektromotoriſche Kraft E berechnen. Für die oben bereits mitgetheilten Meſſungen ergeben ſich die Werthe der elektromotoriſchen Kraft der Zinkkohlenkette von Stöhrer und Deleuil, und für die Zinkkupferkette, wie ſie in der Tabelle auf Seite 256 unter E bereits mitgetheilt worden ſind, nämlich:

für die Zinkkohlenkette von Deleuil

883
880
847

Mittel 855

für die Zinkkohlenkette von Stöhrer

783
772

Mittel 777

für die Zinkkupferkette

486
454

Mittel 470.

Die Werthe für die elektromotoriſche Kraft einer und derſelben Kette ergeben ſich ſehr nahe gleich, wie auch die Natur der Flüſſigkeit und mit ihr der Leitungswiderſtand ſich ändern mag. Ja die elektromotoriſche Kraft der Stöhrer'ſchen Zinkkohlenkette ergiebt ſich nur um 0,1 verſchieden von der von Deleuil conſtruirten. Dieſer Umſtand iſt bereits oben, Seite 229, näher beſprochen worden.

Es iſt jetzt noch zu erläutern, was man unter dieſen Zahlen zu verſtehen hat; die elektromotoriſche Kraft iſt diejenige Kraft, welche den Strom in Bewegung ſetzt. Dieſe Kraft können wir natürlich, wie auch die Stromſtärke, nur durch ihre Wirkungen meſſen.

Die elektromotoriſche Kraft der Volta'ſchen Säule iſt der elektriſchen Spannung der Pole bei geöffnetem Schließungsbogen proportional, man könnte alſo dieſe Spannung als Maaß der elektromotoriſchen Kraft in Anwendung bringen, wenn die Meſſung dieſer elektriſchen Spannung an den Polen nicht ſo ſehr gering wäre, daß ſie bei Säulen von wenigen Plattenpaaren oder Elementen nicht mehr mit einiger Genauigkeit ermittelt werden kann. — Das Ohm'ſche Geſetz lehrt uns aber, daß auch die Stromſtärke der geſchloſſenen Kette der elektromotoriſchen Kraft proportional iſt, und da man die Stromſtärke mit großer Genauigkeit meſſen und auf beſtimmte Einheiten reduciren kann, ſo iſt es zweckmäßiger, die Stromſtärke zum Maaß der elektromotoriſchen Kraft zu machen. Wir haben

$$S = \frac{E}{W},$$

wo W den Geſammtwiderſtand bezeichnet, welchen der Strom zu überwinden hat. Für den Fall daß $W = 1$ iſt, haben wir

$$S = E.$$

E iſt alſo die Stromſtärke, welche die Kette geben würde, wenn der Leitungswiderſtand $= 1$ wäre. Bei Zugrundelegung unſerer Einheiten für Stromſtärke und Widerſtand bezeichnen alſo die Werthe für die elektromotoriſche Kraft, alſo die Zahlenwerthe für E, die Quantität Knallgas, welche der Strom einer Kette geben würde, wenn der Geſammtwiderſtand gleich würde dem Widerſtand eines 1 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes; wenn wir alſo gefunden haben, daß die elektromotoriſche Kraft der Daniel'ſchen Zinkkupferkette 470 iſt, ſo heißt das, daß der Strom der Daniell'ſchen Kette in jeder Minute 470 Cubikcentimeter Knallgas liefern würde, wenn die Summe aller Widerſtände der bezeichneten Einheit des Widerſtandes gleich wäre.

Ich halte es für einen großen Vorzug der ſchon oben empfohlenen chemiſchen Einheit der Stromſtärke (= demjenigen Strom, welcher in der

Minute ein Cubikcentimeter Knallgas liefert), daß bei Zugrundelegung derſelben die Werthe der elektromotoriſchen Kraft nicht bloß Verhältnißzahlen ſind, ſondern daß jede für ſich allein eine ganz beſtimmte und eben ſo leicht verſtändliche Bedeutung hat.

Obgleich Jakobi meines Wiſſens zuerſt verſucht hat, die Angaben der magnetiſchen Rheometer auf chemiſchen Effect zu reduciren, ſo hat er dieſe chemiſche Einheit der Stromſtärke doch nicht weiter benutzt, namentlich hat er ſie bei Berechnung der elektromotoriſchen Kraft nicht in Anwendung gebracht.

111 **Die elektromotoriſche Kraft iſt der Spannung der offenen Kette proportional.** Es wurde bereits im vorigen Paragraphen die Behauptung ausgeſprochen, daß man die elektriſche Spannung an den Polen der offenen Kette als ein Maaß für die elektromotoriſche Kraft betrachten könne. Die Richtigkeit dieſer Behauptung iſt gewiß von den meiſten Phyſikern ſtillſchweigend angenommen worden, obgleich eine directe experimentelle Beſtätigung wegen der Unvollkommenheit der Meßwerkzeuge nicht verſucht werden konnte. — Kohlrauſch hat nun dieſe Lücke ausgefüllt. Er hat, wie bereits auf Seite 29 bemerkt wurde, das äußerſt empfindliche Dellmann'ſche Elektrometer in ein Meßinſtrument von großer Genauigkeit umgeſchaffen. Durch die Combination dieſes Inſtrumentes mit dem Condenſator (P. A. LXXV. 88.) gelang es ihm die elektroſkopiſche Spannung an den Polen einer geöffneten einfachen Kette mit ſolcher Schärfe zu beſtimmen, daß über die Richtigkeit des eben ausgeſprochenen Satzes kein Zweifel mehr ſtattfinden kann.

Durch dieſe Unterſuchung hat Kohlrauſch zugleich den Beweis geliefert, daß das Dellmann'ſche Elektroſkop, wie es aus ſeinen Händen hervorging, zu den feinſten elektriſchen Unterſuchungen geeignet iſt. Was die nähere Beſchreibung des Inſtrumentes und ſeines Gebrauchs betrifft, verweiſen wir den Leſer auf die trefflichen, bereits citirten Abhandlungen. Die Vergleichung der elektromotoriſchen Kraft mit der Spannung an den Polen der offenen Kette findet ſich in einem dritten Aufſatze im LXXV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 220. Um die Reſultate dieſer Unterſuchung verſtändlich machen zu können, müſſen wir erſt über die Art und Weiſe, wie aus den am Inſtrument gemachten Meſſungen Zahlenwerthe für die elektroſkopiſche Spannung abgeleitet werden können, einiges nachholen, was oben im Paragraphen verſäumt wurde.

Kohlrauſch's Elektrometer kann auf zweierlei Weiſe als Meßinſtrument gebraucht werden, nämlich:

1) Wenn man den oberen Theilkreis, den wir Torſionskreis nennen wollen, auf 90° ſtellt, ſo wird auch die bewegliche Nadel mit dem feſten Metallſtreifen einen Winkel von 90° bilden. Nadel und Streif werden

nun in Berührung gebracht, ihnen die zu meſſende Elektricität mitgetheilt, und dann die Verbindung zwiſchen Nadel und Streifen wieder aufgehoben. Dreht man nun den Torſionskreis auf 0 zurück, ſo wird die Nadel einen um ſo größeren Winkel mit dem Streifen bilden, je ſtärker die elektriſche Ladung iſt.

Die elektriſche Ladung, welche einen Ausſchlag von 10° hervorbringt, mit 1 bezeichnend, kann man die Stärke der elektriſchen Ladung beſtimmen, welche jedem einzelnen Ausſchlagswinkel zukommt. Was die Details dieſer Berechnung betrifft, ſo verweiſe ich auf Kohlrauſch's Abhandlung im LXXII. Bande von Poggendorff's Annalen. Auf Seite 385 theilt er eine Tabelle mit, welche, natürlich nur für ſein Inſtrument geltend, für jeden Ausſchlagswinkel die entſprechende elektriſche Spannung angiebt. Der Verſtändlichkeit halber wollen wir einen Auszug aus dieſer Tabelle mittheilen:

Ausſchlagswinkel.	Stärke der elektriſchen Spannung.
10	1
20	1,94
30	3,06
40	4,39
50	6,10
60	8,30
70	11.40
80	18,33.

Wenn alſo die Ladung, welche den Ablenkungswinkel von 10° hervorbringt, mit 1 bezeichnet wird, ſo iſt die elektriſche Ladung, welche die Ausſchlagswinkel 40°, 60°, 80° hervorbringen, gleich 4,39 — 8,30 — 18,33.

Kohlrauſch's Tabelle geht von Grad zu Grad fort.

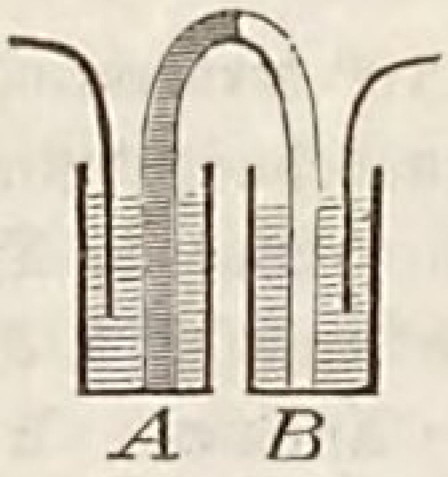
2) Man kann noch auf eine zweite Art das Inſtrument zum Meſſen elektriſcher Ladungen anwenden. Nachdem nämlich bei rechtwinkliger Stellung von Nadel und Streifen, während beide in Berührung waren, Elektricität mitgetheilt worden war, und nur die Berührung wieder aufgehoben worden iſt, kann man durch Drehung des Torſionskreiſes es dahin bringen, daß der Ausſchlagswinkel ſtets eine und dieſelbe Größe, etwa 30° hat. Aus bekannten Gründen iſt alsdann die elektriſche Ladung der Quadratwurzel auch der Torſion des Fadens proportional, welche nöthig iſt, um die Nadel auf die Ablenkung von 30° zu erhalten.

Nach beiden Methoden beſtimmt nun Kohlrauſch die Spannung an

den Polen verſchiedener einfacher Ketten; dieſe waren folgendermaßen arrangirt.

Die beiden Metalle waren zuſammen gelöthet; das eine tauchte in die Flüſſigkeit des Gefäßes A (Fig. 96), das andere in die Flüſſigkeit des Gefäßes B; in jedes Gefäß tauchte nun noch ein Meſſingdraht, welcher den Pol bildet. Der eine der Meſſingdrähte war gut abgeleitet, der andere wurde mit der Collatorplatte des Condenſators verbunden. Es wurde nach den beiden oben angeführten Methoden für jede Kette die Spannung, des poſitiven Pols ſowohl wie die des negativen, durch mehrere Verſuche beſtimmt, und das Mittel aus allen genommen.

Fig. 96.



Die elektromotoriſche Kraft der verſchiedenen galvaniſchen Elemente beſtimmte Kohlrauſch nach der Wheatſtone'ſchen Methode, von welcher alsbald die Rede ſein wird. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate ſeiner Meſſung.

Beſchreibung der Kette.	Elektromotoriſche Kraft.	Spannung der geöffneten Kette.	
		I.	II.
1) Zink in Zinkvitriol — Platin in Salpeterſäure von 1,357 ſpec. Gew.	28,22	28,22	28,22
2) Zink in Zinkvitriol, jedoch die Salpeterſäure von 1,213 ſpec. Gewicht	28,43	27,71	27,75
3) Zink in Zinkvitriol — Kohle in Salpeterſäure von 1,213 ſpec. Gewicht	26,29	26,15	26,19
4) Zink in Zinkvitriol — Kupfer in Kupfervitriol	18,83	18,88	19,06
5) a. Silber in Cyankalium — Kochſalz — Kupfer in Kupfervitriol	14,08	14,27	14,29
b. Desgl. ſpäter	13,67	13,94	13,82
c. Desgl. noch ſpäter	12,35	12,36	12,26

Die Spannung der geöffneten Kette iſt nach den beiden oben angeführten Methoden beſtimmt. Die Zahlen unter I. ſind die nach der erſten, die unter II. die nach der zweiten Methode erhaltenen.

Weil ſowohl die Wurzeln aus den Torſionen als auch die Zahlen der

Tabelle auf S. 385 im LXXII. Bande von Poggendorff, welche die den verſchiedenen Ausſchlagswinkeln entſprechenden Spannungen angeben, ſo wie endlich die Zahlen, welche die elektromotoriſche Kraft ausdrücken, alle nach verſchiedenen Einheiten gemeſſen ſind, hat Kohlrauſch, um die Zahlenreſultate vergleichbarer zu machen, die Wurzeln aus den Torſionen ſämmtlich mit 1,0239, die durch den Ausſchlagswinkel beſtimmten Werthe mit 1,8136 multiplicirt, wodurch bewirkt wird, daß die Reſultate beim erſten Verſuch ganz gleich bleiben. Da nun aber auch die übrigen entſprechenden Zahlen ſehr nahe übereinſtimmen, ſo iſt durch dieſe Verſuchsreihe experimentell bewieſen, daß die elektromotoriſche Kraft der elektroſkopiſchen Spannung an den Polen der geöffneten Kette proportional iſt.

Es ließe ſich dieſer Satz wohl auch mit weniger empfindlichen Elektrometern nachweiſen, wenn man die Spannung an den Polen nicht eines einzelnen Elementes, ſondern einer Säule von 30, 40 und noch mehr Elementen beſtimmte.

Kohlrauſch's Inſtrument wäre gewiß auch ſehr geeignet, eine theoretiſche Streitfrage zu löſen, dem bereits Oben Erwähnung geſchehen iſt. Wenn man in ein Gefäß mit Waſſer einen Zinkſtreifen und einen Platinſtreifen eintaucht, ohne daß ſich dieſelben berühren, ſo müßte, nach Schönbein's Anſicht, wie ſie auf S. 238 entwickelt und in Fig. 89 verſinnlicht iſt, das obere Ende des Zinkſtreifens freie negative, das obere Ende des Platinſtreifens freie poſitive Elektricität zeigen, während es nach den Grundſätzen der Contacttheorie umgekehrt ſein muß. — Es wäre zu wünſchen, daß Kohlrauſch ſelbſt dies unterſuchte, weil er nicht allein ein vorzügliches Inſtrument der Art beſitzt, ſondern auch eine große Geſchicklichkeit in der Handhabung des Apparats erlangt hat.

Indirecte Methoden zur Beſtimmung der Conſtanten der 112
Kette. Das in dem Obigen durchgeführte, aus den Formeln 1 und 2 ſich ergebende Verfahren, um Widerſtand und elektromotoriſche Kraft einer galvaniſchen Kette zu ermitteln, dieſe Methode, zur Beſtimmung der Conſtanten, welche wir die Ohm'ſche nennen wollen, iſt ebenſo einfach als genau, wenn man nur mit zweckmäßigen Meßapparaten verſehen iſt und genügend conſtante Ketten anwendet. Beides aber fehlte in den erſten Zeiten nach der Publikation des Ohm'ſchen Geſetzes, und ſo kam es denn, daß man complicirtere Methoden anwenden mußte, um nur einigermaaßen übereinſtimmende Reſultate zu erhalten. Erſt nach und nach gelang es, zum Einfachen zurückzukehren, eine Erſcheinung, der wir in der Geſchichte der Phyſik ſehr oft begegnen.

Zunächſt fehlte es an einem zur Meſſung der Stromſtärke geeigneten Inſtrumente, denn die Multiplicatoren, welche man in Anwendung brachte,

litten an zwei Uebelſtänden; zunächſt waren ſie nur für ſchwache Ströme brauchbar, dann aber beſteht kein einfaches Geſetz zwiſchen dem Ablenkungswinkel und der Stromſtärke.

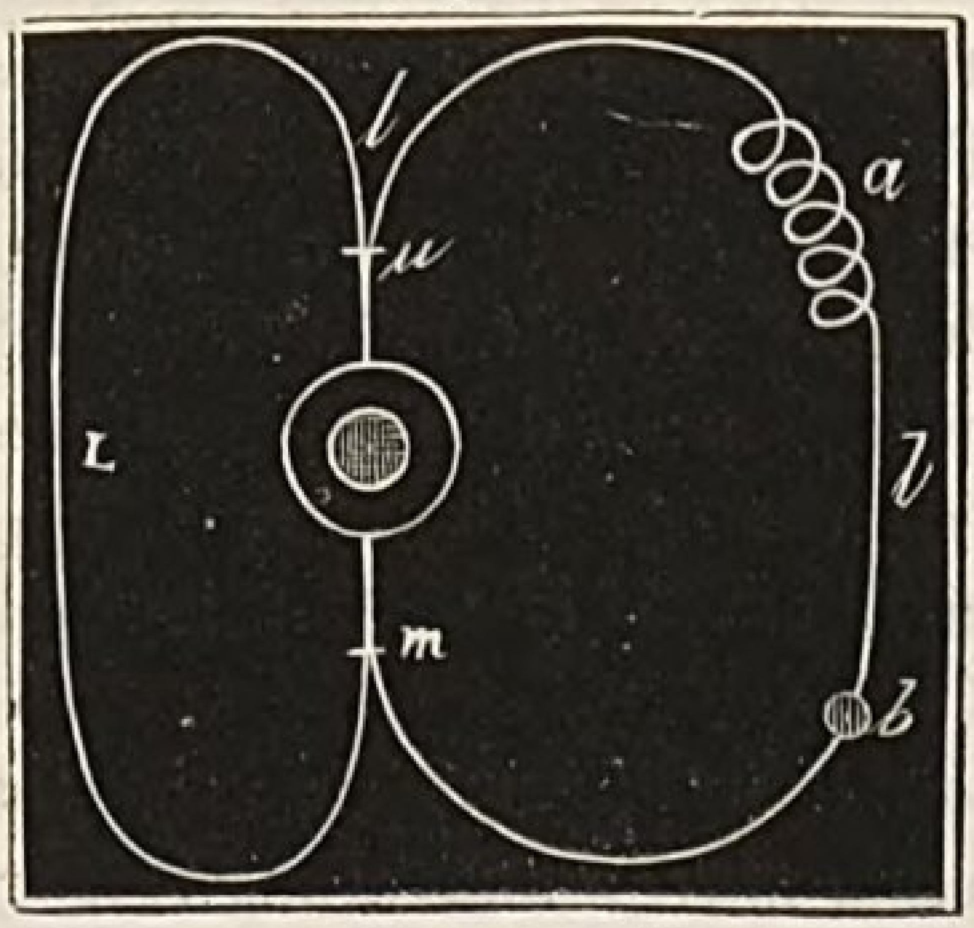
Mehrere Gelehrte haben freilich zum Theil ſehr ſinnreiche Methoden angegeben, ein Galvanometer zu graduiren, d. h. um auf empiriſchem Wege zu ermitteln, wie ſich die verſchiedenen Ablenkungsgrade zu den Stromſtärken verhalten, da ſie jedoch zur allgemeinen Anwendung nicht ſehr geeignet ſcheinen und nur in den Händen geſchickter Phyſiker brauchbare Reſultate liefern werden, ſo möchte es wohl Entſchuldigung finden, wenn ich hier dieſe Graduirungsmethoden nicht näher auseinanderſetze. Die Methode, welche Poggendorff angegeben hat, um das Galvanometer als Meßwerkzeug anzuwenden, finden ſich im LVI. Bande ſeiner Annalen, S. 324. In dieſem Aufſatze findet man auch eine kurze Zuſammenſtellung der von andern Phyſikern zu gleichem Zwecke angegebenen Methoden mit Angabe der Quelle, auf welche ich diejenigen verweiſen muß, welche in's Detail dieſes Gegenſtandes einzugehen beabſichtigen.

Fechner wandte zur Beſtimmung der Stromſtärke nicht die Ablenkung der Nadel, ſondern die Oscillationsdauer der Nadel um ihre Gleichgewichtslage für den Fall an, daß die Windungen des Multiplicators dieſer Gleichgewichtslage parallel ſind.

Dieſe Oscillationsmethode iſt zu mühſam, um eine allgemeinere Anwendung zu geſtatten.

So ſah man ſich denn nach Methoden zur Ermittelung der Conſtanten der Kette (elektromotoriſche Kraft und Widerſtand) um, welche die Kenntniß der Stromſtärke gar nicht erfordern. Ja man fuhr ſelbſt in dieſen Beſtrebungen noch fort, nachdem Pouillet's und Weber's Tangenbuſſole, ſowie die Sinusbuſſole ſchon bekannt waren. Es iſt in der That auffallend, daß dieſe ſo wichtigen Inſtrumente, welche ſo große Vereinfachungen im Studium der galvaniſchen Geſetze möglich machten, nur allmälig allgemeinere Verbreitung und Anerkennung fanden.

Fig. 97.



Wir wollen die zweckmäßigſten dieſer indirecten Methoden näher betrachten.

Jakobi giebt folgende Methode an (Pogg. Ann. LVIII. S. 85). Der Schließungsbogen der Kette iſt in zwei Theile geſpalten, wie es Fig. 97 angedeutet iſt. Der Leitungswiderſtand des einen Zweiges ſei L, der Widerſtand des andern Zweiges, in welchen das Rheoſtat bei a, das Galvanometer

bei b eingeſchaltet iſt, ſey l, ſo iſt der Leitungswiderſtand, welchen dieſe beiden gleichzeitig eingeſchalteten Schließungsbogen hervorbringen $\frac{lL}{L+l}$, folglich die geſammte Stromſtärke, welche der Apparat liefert

$$S = \frac{E(L+l)}{\lambda(l+L)+lL},$$

wenn λ den Leitungswiderſtand des Elementes (ſammt den Drahtleitungen zwiſchen m und u) bezeichnet.

Der Theil des Geſammtſtroms, welcher durch das Galvanometer geht, iſt

$$S' = \frac{EL}{\lambda(lL+)+lL}.$$

Hebt man nun die Nebenſchließung auf, ſo wird die Stromſtärke in dem andern Schließungsbogen wachſen und man muß mittelſt des Rheoſtats noch den Widerſtand x hinzufügen, um die Galvanometernadel wieder auf ihren früheren Stand zu bringen; nun hat man aber für die Stromſtärke S' den Werth

$$S' = \frac{E}{\lambda+l+x}.$$

Aus dieſen und der vorigen Gleichung ergiebt ſich nun für λ der Werth

$$\lambda = \frac{xL}{l},$$

Da nun x, L und l bekannt ſind, ſo kann man nach dieſer Methode den Widerſtand des Elementes ermitteln, ohne den Werth für die Stromſtärke zu kennen.

Bringt eine andere Kette, deren Widerſtand λ' iſt, mit den Widerſtänden l' und x' (l' und x' bezeichnen hier die den obigen l und x entſprechenden Größen) dieſelbe Ablenkung am Galvanometer hervor, ſo hat man

$$S' = \frac{E'}{\lambda'+l'+x'}.$$

wir haben alſo

$$E : E' = (\lambda+l+x) : (\lambda'+l'+x').$$

Man kann alſo nach dieſer Methode das **Verhältniß** der elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Volta'ſcher Combinationen ermitteln. **Jakobi** fand auf dieſe Weiſe, daß ſich die elektromotoriſche Kraft der **Daniell**'ſchen Kette zu der der **Grove**'ſchen verhält wie 21 zu 35.

Wheatſtone giebt ein ſehr ſchönes Verfahren an, um die elektromotoriſche Kraft einer Kette zu beſtimmen, ohne vorher einen Werth für den Widerſtand der Kette gefunden zu haben (Pogg. Ann. LVII. S. 518).

Eine Kette, deren elektromotoriſche Kraft E iſt, giebt die Stromſtärke $S = \frac{E}{R}$, wenn R die Summe aller Widerſtände iſt. Iſt die elektromo-

toriſche Kraft einer andern Kette $n$mal ſo groß, ſo muß auch der Geſammt-widerſtand $n$mal ſo groß ſeyn, wenn dieſe zweite Kette dieſelbe Stromſtärke, alſo dieſelbe Ablenkung (etwa 45°) am Galvanometer hervorbringen ſoll, denn es iſt ja $\frac{E}{R} = \frac{n\,E}{n\,R}$.

Fügt man nun zu dem Widerſtande R noch den Widerſtand r hinzu, ſo wird die Stromſtärke abnehmen, ſie wird auf $\frac{E}{R+r}$ ſinken, die Nadel des Galvanometers wird um eine beſtimmte Anzahl von Graden (etwa um 5°) zurückgehen. Will man bei Einſchaltung der zweiten Kette den Strom um ebenſo viel ſchwächen, will man alſo die Nadel ebenfalls von 45° bis auf 40° zurückgehen machen, ſo wird man zu dem Widerſtande $n\,R$ noch den Widerſtand $n\,r$ hinzufügen müſſen, denn wenn $\frac{E}{R} = \frac{n\,E}{n\,R}$ ſo iſt auch $\frac{E}{R+r} = \frac{n\,E}{n\,R + n\,r}$. Die elektromotoriſchen Kräfte der beiden Ketten verhalten ſich alſo wie die Widerſtände, welche man den ſchon vorhandenen hinzufügen muß, um von einer beſtimmten Ablenkung (etwa 45°) ausgehend, die Nadel um gleich viel (etwa 5°) Grade zurückgehen zu machen.

Um die elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Ketten zu vergleichen, hat man alſo folgendes Verfahren einzuſchlagen. Man ſchaltet in den Schließungsbogen der Kette außer dem Galvanometer noch das Rheoſtat und ſo viel Draht ein, daß die Ablenkung der Nadel 45° beträgt; dann vermehrt man den Widerſtand durch Umdrehung des Rheoſtaten, bis die Ablenkung der Nadel nur noch 40° beträgt; die Anzahl der Umgänge iſt dann ein Maaß für die elektromotoriſche Kraft der Kette.

Nehmen wir z. B. an, man laſſe den Strom eines Daniell'ſchen Elementes durch den Rheoſtaten und das Galvanometer gehen, und habe ſoviel Draht eingeſchaltet, daß die Ablenkung 45° beträgt. Um die Ablenkung von 45° auf 40° herabzubringen, habe man 30 Windungen des Rheoſtaten hinzufügen müſſen.

Nun ſchalte man ein Grove'ſches Element in denſelben Schließungsbogen ein, und regulire den Geſammtwiderſtand ſo, daß die Nadel ebenfalls auf 45° ſteht. Um ſie jetzt auf 40 herunter zu bringen, müſſe man aber den Widerſtand um 50 Windungen des Rheoſtaten vermehren, dann würde ſich die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette zu der der Grove'ſchen verhalten wie 30 zu 50.

Es iſt dies offenbar das einfachſte Verfahren, um das Verhältniß der elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Ketten zu ermitteln.

Wheatſtone wandte als Rheometer einen Multiplicator an, und mußte,

deßhalb einen bedeutenden Widerſtand einſchalten, um die Stromſtärke hydroelektriſcher Elemente ſchwach genug zu machen. Unter dieſen Umſtänden kann natürlich auch nur ein Rheoſtat mit dünnem Draht angewandt werden

Obgleich nun urſprünglich dieſe Methode für einen Multiplicator berechnet iſt, ſo kann man ſie doch auch eben auf jedes andere Rheometer, alſo auch auf das Torſionsgalvanometer, die Tangentenbuſſole u. ſ. w. anwenden. Bei dieſen Inſtrumenten aber, welche ſtärkere Ströme geſtatten, braucht man natürlich den Strom nicht ſehr zu ſchwächen, und kann dann auch einen Rheoſtaten mit dickerem Draht anwenden.

Dieſe Wheatſtone'ſche Methode giebt uns die Werthe der elektromotoriſchen Kraft durch die Drahtlängen gemeſſen, welche erforderlich ſind, um den beſprochenen Rückgang der Nadel zu bewirken, dieſe Zahlen ſind alſo abhängig von der Individualität des Galvanometers und des Rheoſtaten.

Als Beiſpiele für ſeine Methode führt Wheatſtone folgende Meſſungen an. Drei kleine Daniell'ſche Ketten*) von ungleicher Größe wurden ſucceſſiv in die Kette gebracht. Um die Nadel von 45° auf 40° zurückzubringen, war folgende Anzahl von Umgängen des Rheoſtaten erforderlich:

Kupfercylinder	1½ Zoll	hoch 2″	Durchm. . . .	30	Umgänge
»	3½ »	» 2½″	»	30	»
»	6 »	» 3½″	»	30	»

Die elektromotoriſche Kraft iſt alſo, der Theorie gemäß, von der Größe der Plattenpaare unabhängig.

Als der Reihe nach Säulen von 1, 2, 3, 4, 5 gleichen Elementen als Elektromotoren angewandt wurden, ergaben ſich folgendn Reſultate:

1 Element	erforderte	30	Umgänge
2 Elemente	erforderten	61	»
3 »	»	91	»
4 »	»	120	»
5 »	»	150	»

Die elektromotoriſche Kraft der Batterie iſt alſo, wie es auch die Theorie ausſpricht, der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Ich habe nach dieſer Methode die elektromotoriſche Kraft eines Daniell'ſchen, eines Grove'ſchen, eines Stöhrer'ſchen und eines Deleuil'ſchen Elementes beſtimmt; ich wandte dabei die Tangentenbuſſolen und einen Rheoſtaten mit dickem Draht an.

---

*) Die Elemente waren etwas anders conſtruirt als die gewöhnlichen Daniell'ſchen. Die poröſe Thonzelle enthielt nämlich bloß flüſſiges Zinkamalgam und ſtand ſo wie der ſie umgebende Cylinder von Kupferblech in einer Löſung von Kupfervitriol.

Um die Nadel von 15° auf 10° zurückzubringen, waren nöthig

bei dem Daniell'ſchen Element	. . .	9	Umgänge
» » Grove'ſchen »	. . . .	13	»
» » Stöhrer'ſchen »	. . .	13,6	»
» » Deleuil'ſchen »	. . .	15,1	»

Für die Deleuil'ſche Kette war gleichzeitig die elektromotoriſche Kraft nach der chemiſchen Methode beſtimmt worden, die Reſultate dieſer Beſtimmungen finden ſich bereits in der Tabelle auf pag. 256. Von den 6 Meſſungen für die Deleuil'ſche Kette gehören die drei letzten hierher.

Nach dieſen Beſtimmungen iſt es nun leicht, die Anzahl der Umgänge, welche nöthig ſind, um die Nadel von 15 auf 10° zurückzubringen, auf die oben beſprochene Einheit für die elektromotoriſche Kraft zu reduciren. Es entſprechen nämlich

	15,1 Umgänge einer elektromotoriſchen Kraft . . .	823
alſo	1 Umgang » » » . . .	54,51.

Aus den durch Umdrehungen des Rheoſtaten ermittelten Zahlenwerthen für die elektromotoriſche Kraft würden ſich alſo für dieſelbe in unſerer Einheit ausgedrückt folgende Werthe ergeben:

für die Daniell'ſche Kette	490
» » Grove'ſche »	709
» » Stöhrer'ſche »	741.

Das Zink der Daniell'ſchen Kette ſtand bei der letzten Meſſung wieder in ſtärkerer Schwefelſäure, für welchen Fall die directe Meſſung den Werth 486 gegeben hatte. Für die Stöhrer'ſche Kette wurde früher die elektromotoriſche Kraft etwas größer gefunden. — Die Zahlen für die Grove'ſchen Ketten differiren bedeutender, es iſt deshalb auf dieſelben kein Gewicht zu legen.

Auf dieſelbe Weiſe, wie es hier geſchehen iſt, laſſen ſich die mittelſt eines jeden Rheoſtaten gefundenen Werthe der elektromotoriſchen Kraft, welche noch mit der Individualität des Inſtrumentes behaftet ſind, auf unſere Einheit reduciren, wenn man nur einmal den entſprechenden Factor ausgemittelt hat.

Um den Widerſtand des Elementes zu beſtimmen, hat Wheatſtone mehrere Methoden angegeben, von denen wir hier nur die erſte hervorheben wollen.

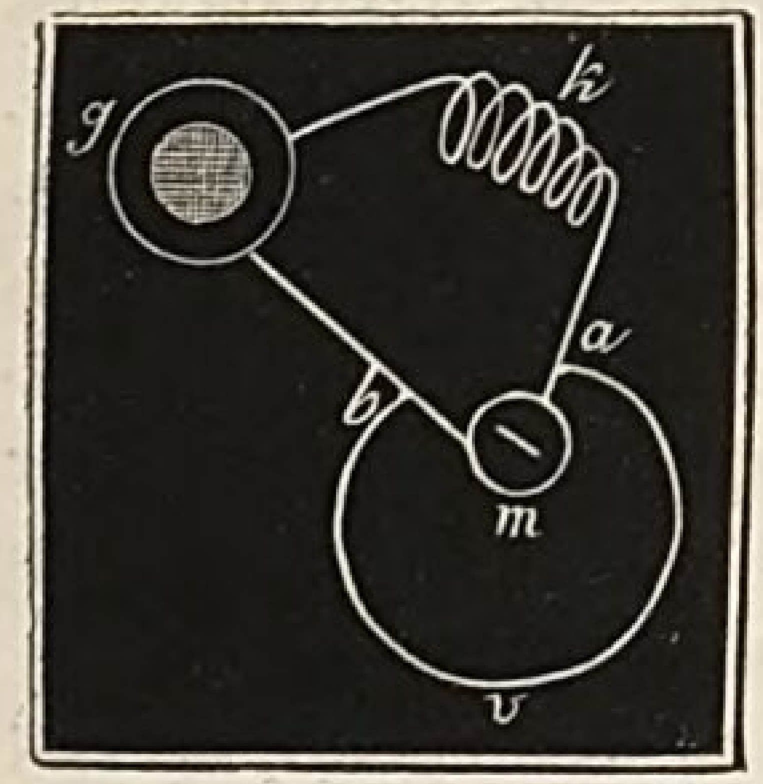
Man bringe das Galvanometer und den Rheoſtaten in die Kette und ajuſtire letztere ſo, daß die Nadel des erſteren auf einen beſtimmten Punkt zu ſtehen kommt. Die Stromſtärke S iſt jetzt

$$S = \frac{E}{R + g},$$

wenn man mit E die elektromotoriſche Kraft, mit g den Leitungswiderſtand

des Multiplicators, mit R den geſammten übrigen Leitungswiderſtand in der Kette bezeichnet. Dieſe Anordnung wird durch Fig. 98 anſcheinlich gemacht; g ſtellt das galvaniſche Element, k den Rheoſtaten, m den Multiplicator dar.

Fig. 98.



Nun zweige man den Strom, welcher durch den Galvanometer geht, durch einen Draht ab, deſſen Widerſtand ganz gleich iſt dem Widerſtande des Multiplicators, ſo wird nun von a aus die eine Hälfte des Stroms durch v nach b, die andere Hälfte durch den Multiplicator nach b gelangen. Der Widerſtand zwiſchen a und b iſt jetzt nur halb ſo groß als vorher, da nur der Multiplicator da war, die Stärke des ungetheilten Stromes iſt demnach jetzt

$$\frac{E}{R + \frac{g}{2}}$$

von dieſem Strome geht die Hälfte durch den Multiplicator, die Stärke des durch dies Inſtrument gehenden Stromes iſt alſo jetzt nur

$$S' = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{E}{R + \tfrac{1}{2} g}.$$

Man kann aber die Nadel dadurch wieder auf ihre urſprüngliche Stellung bringen, daß man mittelſt des Rheoſtaten den Widerſtand R gehörig verkleinert. Hat man durch Umdrehen des Rheoſtaten den Widerſtand des ungetheilten Theils der Kette von R auf $\frac{1}{2}\,R$ herabgebracht, ſo iſt nun die Stromſtärke

$$S'' = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{E}{\frac{R}{2} + \frac{g}{2}} = \frac{E}{R + g},$$

ſie iſt alſo wieder ſo ſtark wie anfänglich. Hat man alſo nach Einſchaltung des Zweigdrahtes v eine Anzahl von n Windungen des Rheoſtaten aus der Kette entfernen müſſen, um die urſprüngliche Ablenkung der Nadel wieder zu erhalten, ſo iſt der geſammte Widerſtand R des ungetheilten Theiles der Kette gleich den von $2\,n$ Windungen.

Der Widerſtand R beſteht aber aus zwei Theilen, dem weſentlichen Widerſtande des Elementes und dem Widerſtande der Drahtleitungen von einem Pol des Elementes bis a, und vom anderen Pole bis b. Man hat den Widerſtand dieſer Drahtleitungen zu ermitteln und von R abzuziehen, um den weſentlichen Widerſtand des Elementes zu finden.

Dieſe, ſo wie alle übrigen indirecten Methoden zur Beſtimmung des weſentlichen Widerſtandes eines Elementes ſind nun freilich nicht ſo einfach,

daß man ſie der oben beſprochenen directen Beſtimmung vorziehen möchte, wenn man über ein Inſtrument zur Meſſung der Stromſtärke zu disponiren hat.

113 **Poggendorff's Methode zur Beſtimmung der elektromotoriſchen Kraft inconſtanter Ketten.** Im LIII. Bande ſeiner Annalen S. 436 theilt Poggendorff ſeine erſten Unterſuchungen über die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette mit. Obgleich das Eiſen in der Spannungsreihe dem Zink ungleich näher ſteht als Kupfer, ſo iſt doch der Strom, welchen die Combination Zinkeiſen in verdünnter Schwefelſäure liefert, ſtärker als der Strom eines Elementes von Kupfer und Zink in derſelben Flüſſigkeit und unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden.

Dies Reſultat ſchien auf den erſten Anblick im Widerſpruche mit der Contacttheorie zu ſeyn, und deshalb unternahm Poggendorff eine genauere Prüfung. Er beſtimmte, ſo gut es bei den veränderlichen Strömen von Ketten mit einer Flüſſigkeit möglich iſt, nach der Ohmiſchen Methode den Widerſtand und die elektromotoriſche Kraft der beiden Combinationen, und fand, daß ſich in der That die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette zu der der Zinkkupferkette verhält wie 21,5 zu 11,8.

Die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette ergab ſich alſo wirklich größer als die der Zinkkupferkette, obgleich das Eiſen in der Spannungsreihe zwiſchen Zink und Kupfer ſteht. Poggendorff erkannte ganz richtig, daß dieſe Anomalie lediglich in der Polariſation der Platten ihre Urſache haben könne. Die elektromotoriſche Kraft, welche urſprünglich den Strom in Bewegung ſetzt, iſt zwar weſentlich durch die elektriſche Differenz der beiden ſich berührenden Metalle bedingt, allein ſobald der Strom zu circuliren beginnt, erfahren die Metallplatten eine Polariſation, welche die urſprüngliche elektromotoriſche Kraft vermindert, und dieſe Polariſation iſt bedeutender für die Combination Zinkkupfer als für die Combination Zinkeiſen.

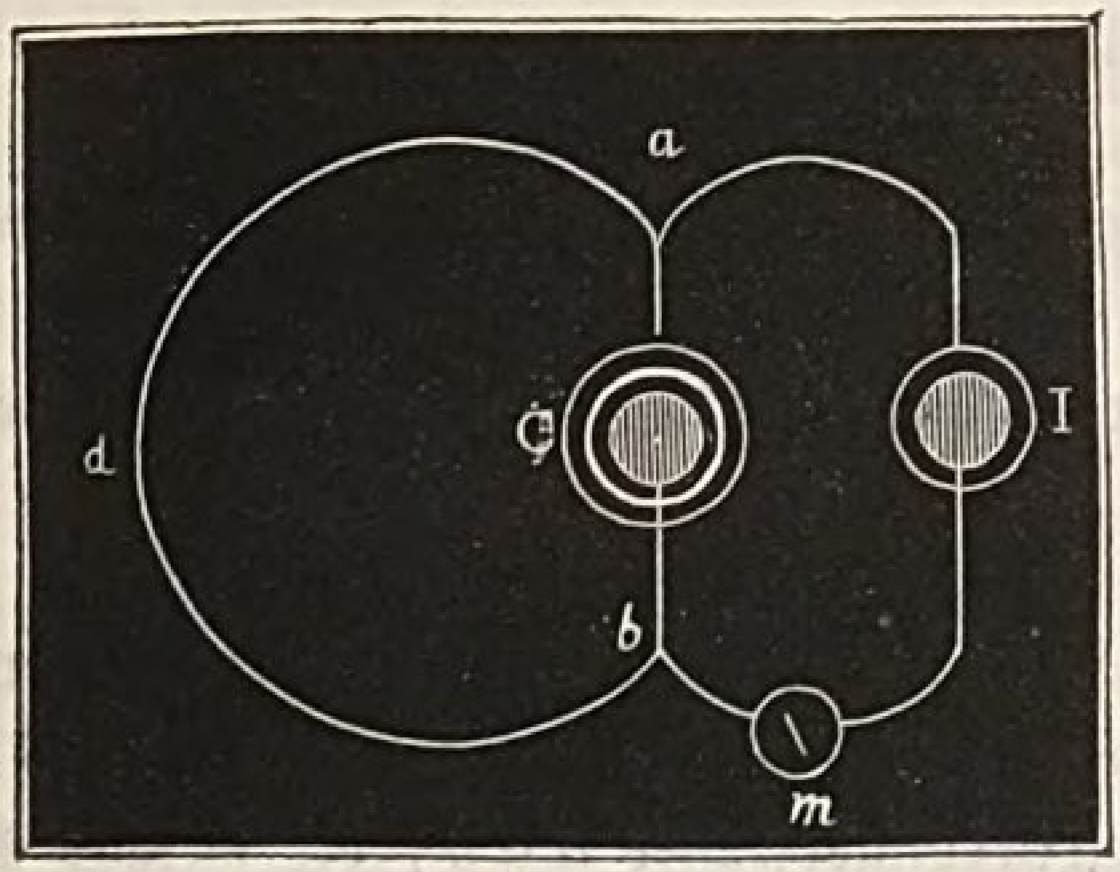
Dieſe galvaniſche Polariſation werden wir ſpäter noch ausführlicher betrachten; hier iſt nur ſo weit die Rede davon, als nöthig iſt, um den Gang der Poggendorff'ſchen Unterſuchung auseinanderzuſetzen.

Wenn alſo die nach der Ohm'ſchen Methode gefundenen Werthe für die elektromotoriſche Kraft nicht mit der Spannungsreihe harmoniren, ſo liegt, wie ſchon bemerkt wurde, der Grund davon lediglich in der Modification, welche die urſprüngliche elektromotoriſche Kraft durch die Polariſation erleidet. Poggendorff beſtrebte ſich, nur den Werth dieſer urſprünglichen noch nicht durch Polariſation modificirten elektromotoriſchen Kraft zu beſtimmen. Wir übergehen die früheren Bemühungen, durch welche dies Ziel nur unvollſtändig erreicht wurde, und wenden uns gleich zur Betrachtung einer Methode, welche Poggendorff im LIV. Bde. ſeiner Annalen Seite 161 publicirt hat.

Dieſe Methode unterſcheidet ſich weſentlich von allen anderen dadurch, daß bei ihr nicht der Strom einer Kette gemeſſen wird, ſondern bloß die Tendenz zu demſelben. — Um die Polariſation zu vermeiden, ſtrebte Poggendorff dahin, den Strom der Kette gar nicht zur Wirkſamkeit kommen zu laſſen, ſondern ihn von vornherein durch einen anderen zu compenſiren, deſſen elektromotoriſche Kraft conſtant und bekannt iſt.

Die Auseinanderſetzung und Begründung ſeiner Compenſationsmethode iſt bei Poggendorff etwas weitläufig, und eben deshalb auch nicht recht überſichtlich, ich bin deshalb in Folgendem von ſeiner Darſtellungsweiſe abgewichen, da ich mir möglichſte Verſtändlichkeit zur Hauptaufgabe bei Abfaſſung dieſes Berichtes gemacht habe.

Fig. 99.



In Fig. 99 ſtelle C ein conſtantes Element, etwa ein Grove'ſches und I ein anderes Volta'ſches Element dar, deſſen elektromotoriſche Kraft geringer iſt als die von C. Die poſitiven Pole beider ſind leitend verbunden, ebenſo die negativen. In die Verbindung zweier gleichnamiger Pole iſt ein Multiplicator m eingeſchaltet; die Verbindung der beiden anderen Pole kann bei a beliebig unterbrochen und wieder hergeſtellt werden. Die Drahtleitung $a\,d\,b$ ſchließt die conſtante Kette C.

Nehmen wir an, das Element I ſey dem C vollkommen gleich und die Verbindung bei a hergeſtellt, ſo ſtellt uns dieſe Combination nichts anders dar, als zwei Elemente, die ſo verbunden ſind, daß ſie ein einziges von doppelter Oberfläche darſtellen; iſt aber die elektromotoriſche Kraft von I ſchwächer als die von C, ſo ſind die Stromwirkungen etwas complicirter.

Bezeichnen wir

mit l den Widerſtand des Elementes C ſammt den Drahtleitungen zwiſchen a und b,

mit l' den Widerſtand des Elementes I ſammt den Drahtleitungen zwiſchen a und b, alſo den Widerſtand des Multiplicators m mit eingerechnet,

mit r den Widerſtand der Drahtleitung $a\,d\,b$; bezeichnen wir ferner

mit E die elektromotoriſche Kraft von C,

mit E' die elektromotoriſche Kraft von I.

Der Strom des Elementes C theilt ſich bei a und b in zwei Theile, von denen der eine durch die Drahtleitung über d, der andere durch I geht. Der Leitungswiderſtand des einen Zweiges iſt r, der des anderen iſt l',

folglich iſt der Widerſtand beider neben einander befindlichen Zweige $\frac{l' r}{l' + r}$ und der ungetheilte Strom, welchen C liefert, iſt

$$\frac{E}{l + \frac{l' r}{l' + r}} = \frac{E\,(l' + r)}{l\,(l' + r) + l' r}$$

wenn man von der elektromotoriſchen Kraft in I abſtrahirt.

Derjenige Theil dieſes Geſammtſtromes, welcher durch I geht, iſt

$$\frac{E\,r}{l\,(l' + r) + r\,.\,l'} \;\ldots\ldots\; 1)$$

Der Geſammtſtrom, welchen I liefert und welcher ſich nachher in die Zweige $a\,C\,b$ und $a\,d\,b$ ſpaltet, iſt

$$\frac{E'\,(l + r)}{l'\,(l + r) + r\,l} \;\ldots\ldots\; 2)$$

Die beiden Ströme 1) und 2) gehen in entgegengeſetzter Richtung durch den Multiplicator. Da nun die Nenner der beiden Stromwerthe bei 1) und 2) einander gleich ſind, ſo wird offenbar der Multiplicator auf dem Nullpunkt ſtehen bleiben, wenn

$$E\,r = E'\,(l + r) \;\ldots\ldots\; 3)$$

Für beſtimmte Werthe von E, E' und l wird es alſo ſtets einen Werth von r geben, für welchen der Gleichung 3) Genüge geleiſtet wird, d. h. es giebt eine beſtimmte Länge des Schließungsdrahtes $a\,d\,b$, bei welcher der Multiplicator keinen Strom anzeigt, wenn man den von a kommenden Draht mit dem einen Pol von C in Berührung bringt.

Iſt der Widerſtand r zu groß, ſo wird der Multiplicator einen Strom zu Gunſten von C anzeigen, hingegen wird im Multiplicator der Strom von C überwiegen, wenn der Widerſtand r zu klein iſt.

Hat nun der Widerſtand r im Drahte adb gerade eine ſolche Größe, daß der Multiplicator auf Null ſtehen bleibt, wenn man bei a ſchließt, daß alſo die Gleichung 3) erfüllt iſt, ſo ergiebt ſich aus dieſer Gleichung

$$E' = E\,\frac{r}{l + r} \;\ldots\ldots\ldots\; 4)$$

man kann alſo den Werth von E', d. h. die elektromotoriſche Kraft von I berechnen, wenn man die elektromotoriſche Kraft von C, alſo E und den Werth der Widerſtände l und r kennt.

Natürlich kann man die richtige Länge des Drahtes adb nicht gleich auf den erſten Wurf treffen; vielmehr wird in der Regel, wenn man bei a ſchließt, die Multiplicatornadel nach der einen oder andern Seite abweichen, je nachdem der Draht zu lang oder zu kurz iſt. Durch ein Paar Proben, wobei man den Draht adb zweckmäßig verlängert oder verkürzt, findet man indeß leicht die Länge deſſelben, bei welcher entweder gar kein

oder doch nur ein höchſt ſchwacher Strom im Galvanometer angedeutet wird.

Dies iſt nun als eine erſte Annäherung zum richtigen Verhältniß zwiſchen r und l zu betrachten. Man läßt nun die Kette I eine Zeit lang ungeſchloſſen, damit ſich alle Polariſation verliere, oder noch beſſer, man nimmt die negative Platte aus der Flüſſigkeit, reinigt ſie und ſetzt ſie dann wieder an ihre Stelle. Entſteht nun noch ein Ausſchlag, wenn man bei a ſchließt, ſo regulirt man abermals die Länge des Drahtes adb, bis man das richtige Verhältniß hergeſtellt hat. Es iſt nun der Strom, welchen die noch nicht durch Polariſation modificirte elektromotoriſche Kraft des Elementes I zu erzeugen ſtrebt, compenſirt, und man kann den Werth E' derſelben nach Gleichung 4) berechnen.

Zunächſt prüfte Poggendorff ſeine Methode dadurch, daß er nach ihr die elektromotoriſche Kraft von conſtanten Elementen beſtimmte, die man auch auf andere Art ermitteln kann, und fand ganz übereinſtimmende Reſultate. Er fand nach der Ohm'ſchen Methode

die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Elementes $= 25,886$,
» » » » Daniell'ſchen Elementes $= 15,435$.

Es wurde nun das Grove'ſche Element an die Stelle von C, das Daniell'ſche an die Stelle von I Fig. 99. geſetzt. l war 35,03. Das fragliche Gleichgewicht fand ſtatt als $r = 52,68$; für dieſen Fall iſt alſo $\frac{l + r'}{r} = 1,668$, mithin ergiebt ſich nach dieſer Methode

$$E' = \frac{25,886}{1,668} = 15,51,$$

was mit dem nach der Ohm'ſchen Methode beſtimmten Werthe von E' ſehr gut übereinſtimmt.

Poggendorff wandte nun dieſe Methode zur Ermittelung der urſprünglich elektromotoriſchen Kraft in conſtanten Ketten an. Die elektromotoriſche Kraft der zur Vergleichung zu Grunde gelegten Grove'ſchen Kette war nach der Ohm'ſchen Methode gleich 22,88 gefunden worden, und es ergab ſich für die urſprünglich elektromotoriſche Kraft einer inconſtanten Kette aus

Zink-Kupfer . . .	13,79
Zink-Eiſen . . .	7,40
Eiſen-Kupfer . .	6,00

Dieſe Reſultate beweiſen, daß die urſprünglichen elektromotoriſchen Kräfte dieſen Combinationen in der That dem Geſetz der Spannungsreihe ſehr nahe genügen, denn es iſt die elektromotoriſche Kraft für Kupfer-Eiſen + der elektromotoriſchen Kraft für Eiſen-Zink nahe gleich der elektromoto-

riſchen Kraft für Kupfer-Zink, denn es iſt 7,4 + 6 = 13,4, alſo wirklich nahe gleich 13,79.

Wenn alſo der Strom der Zinkeiſenkette ſtärker iſt als der der Zinkkupferkette, wenn man nach der Ohm'ſchen Methode auch die elektromotoriſche Kraft der erſten Combination größer findet, als die der letzteren, ſo iſt dies lediglich eine Folge, daß der Strom bei der Combination Zinkkupfer eine ſtärkere, der urſprünglichen elektromotoriſchen Kraft entgegenwirkende Polariſation erzeugt als bei der Zinkeiſenkette.

114 **Vergleichung verſchiedener Volta'ſcher Combinationen.** In den letzten Paragraphen haben wir geſehen, wie man die Conſtanten einer Volta'ſchen Combination ermitteln und in vergleichbaren Werthen ausdrücken kann. Alle Angaben über die Effecte einer Säule, wie man ſie gewöhnlich angeführt findet, um die eine oder die andere Combination zu empfehlen, geben keine genügende Beſtimmungen für die Leiſtungsfähigkeit der Apparate. Der Mangel an genauen numeriſchen Beſtimmungen veranlaßt große Täuſchungen in Beziehung auf die Vortheile und Nachtheile der verſchiedenen galvaniſchen Combinationen. Finden wir ſolche Unbeſtimmtheiten und Täuſchungen ſchon bei Männern der Wiſſenſchaft, ſo darf es uns gar nicht wundern, in techniſchen Journalen Vorſchläge zu finden, welche eine gänzliche Unkenntniß aller Principien beurkunden, um die es ſich hier handelt.

Betrachten wir die wichtigſten galvaniſchen Combinationen etwas näher.

115 **Die einfache Zinkkupferkette.** Die Wollaſton'ſche Batterie iſt eine zweckmäßige Form der einfachen Zinkkupferkette mit einer Flüſſigkeit. Man findet ſie in meinem Lehrbuch der Phyſik abgebildet und beſchrieben.

Die Ketten von Young und Münch kann man als Variatäten der Wollaſton'ſchen betrachten, und es dürfte deshalb eine weitere Beſchreibung derſelben unnöthig ſeyn.

Die einfache Zinkkupferkette gehört bekanntlich nicht zu den conſtanten Ketten, indem die elektromotoriſche Kraft durch die in Folge des Stromes auftretende Polariſation an der Kupferplatte ſehr bedeutend modificirt wird. Poggendorff fand die noch nicht durch Polariſation modificirte elektromotoriſche Kraft der Zinkkupferkette in verdünnter Schwefelſäure gleich 13,8 (Seite 275), wenn die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette gleich 229, iſt.

Nehmen wir nach chemiſcher Einheit die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette gleich 830 (vergleiche die Tabelle auf S. 256), ſo wäre nach dieſer Einheit die unmodificirte elektromotoriſche Kraft der Zinkkupferkette gleich 500. Nach meinen Verſuchen iſt aber, wenn der Strom zur Entſtehung gekommen iſt, die elektromotoriſche Kraft der Zinkkupferkette nur gleich 208; durch die Polariſation wird alſo die elektromotoriſche

Kraft ſehr bald auf $^2/_5$ ihres urſprünglichen Werthes herabgebracht, und dies iſt nun auch die Urſache, daß gleich nach dem Eintauchen der Strom außerordentlich ſtark iſt, aber dann ſehr raſch abnimmt. Hat einmal die Polariſation ihr Marimum erreicht, ſo bleibt nun der Strom ziemlich conſtant, ſo wenigſtens, daß man annähernd genaue Meſſungen machen kann. Die Zahlen, aus denen die auf S. 256 mitgetheilten Werthe der elektromotoriſchen Kraft und des Leitungswiderſtandes der Wollaſton'ſchen Kette berechnet wurden, ſind nicht unmittelbar beobachtet, ſondern das Mittel aus mehreren Ableſungen. Um einen richtigen Begriff von dem Verhalten dieſer Kette zu geben, will ich die entſprechende Beobachtungsreihe ganz herſetzen:

Einſchaltung.	Ablenkung.
0	26°
Kupferdraht . . .	12°
" . . .	11,5
0 . . .	24
Kupferdraht . . .	11
" . . .	11,25
0 . . .	23,5
Meſſingdraht . . .	5
0 . . .	24
Meſſingdraht . . .	5
0 . . .	22
" . . .	23
Kupferdraht . . .	11
0 . . .	23

Nach Schließung der Kette vergingen einige Minuten, bis die Nadel nach anfangs ſehr lebhaften Oscillationen zur Ruhe gekommen war; ſelbſt nachdem die Oscillationen aufgehört hatten, ging ſie noch langſam zurück und erſt bei 26° wurde ſie ziemlich ſtationär. Es iſt dies die erſte Aufzeichnung. Nun wurde ein Kupferdraht eingeſchaltet, deſſen Widerſtand durch frühere Verſuche gleich dem von 7,2 Metern Normaldraht gefunden worden war. Die Nadel ſtellte ſich bei 12° feſt und ging nach einiger Zeit auf 11,5° zurück.

Der Kupferdraht wurde wieder aus dem Schließungsbogen herausgenommen, nun war die Ablenkung 24° u. ſ. w.

Der Meſſingdraht, welcher die Ablenkung auf 5° herabbrachte, hatte einen Leitungswiderſtand gleich dem von 29,2 Metern Normaldraht.

Man ſieht, daß der Strom dieſes Elementes, wenn einmal die erſten Schwankungen vorüber ſind, ziemlich conſtant bleibt, wenigſtens ſo, daß man angenähert genaue Meſſungen zur Berechnung der elektromotoriſchen

Kraft und des Leitungswiderſtandes machen kann. Freilich wird die elektromotoriſche Kraft durch den Strom ſehr bedeutend geſchwächt, dagegen iſt auch der Leitungswiederſtand ſelbſt bei ſehr ſchwacher Säure nicht bedeutend. Wo es alſo nicht darauf ankommt, genaue Meſſungen zu machen, und wo man nicht auf längere Zeit einen beſtändigen Strom nöthig hat, alſo zu vielen galvaniſchen Verſuchen, laſſen ſich die Zinkkupferketten mit Vortheil anwenden; hat man Elemente mit großen Oberflächen nöthig, ſo iſt dann die Form der Hare'ſchen Spirale vorzuziehen.

Die Stärke der Polariſation iſt höchſt wahrſcheinlich von der Stromſtärke abhängig, doch fehlen uns darüber bis jetzt noch genauere Unterſuchungen.

Der Grund, warum die Ketten mit einer Flüſſigkeit nicht conſtant ſind, iſt in der Polariſation der negativen Platte zu ſuchen, und dieſe wird in den ſogenannten conſtanten Ketten möglichſt vermieden. Deſſen ungeachret nimmt doch auch die Stromſtärke der conſtanten Ketten allmälig ab, wenn man ſie längere Zeit geſchloſſen läßt, weil die Flüſſigkeit ſich allmälig ändert, indem die verdünnte Schwefelſäure ſich nach und nach in eine Löſung von Zinkvitriol verwandelt. Eine entſprechende Veränderung in der Natur der Flüſſigkeit findet bei allen Ketten ohne Ausnahme ſtatt, und ſie ließe ſich nur dadurch vermeiden, daß man die Flüſſigkeit von Zeit zu Zeit erneuerte. — Durch eine Hebervorrichtung könnte man es wohl einrichten, daß die ſchwerere Zinkvitriollöſung aus dem untern Theil des Gefäßes langſam abfließt, und oben in demſelben Maaße friſche Säure zufließt.

Ein Umſtand, der bei allen Ketten ohne poröſe Scheidewand ganz beſonders nachtheilig wirkt, iſt der, daß in Folge des Stroms das Zinkſalz die Löſung zerſetzt und Zink metalliſch auf der negativen Platte abgelagert wird, wodurch dann freilich bei längerer Schließung der Kette die elektromotoriſche Kraft der Kette mehr und mehr abnehmen muß.

Die Beſtändigkeit der Stromſtärke einer Kette hängt weſentlich von der Größe dieſer Stromſtärke ab. Schwache Ströme, wie man ſie erhält, wenn man ſtark verdünnte Säure anwendet, und große Leitungswiderſtände in den Schließungsbogen einſchaltet, bleiben leicht längere Zeit conſtant, während bei Anwendung ſtärkerer Säure und geringer Leitungswiderſtände die Stromſtärke nothwendig weit raſcher abnehmen muß. Will man daher verſchiedene Ketten in Beziehung auf ihre Beſtändigkeit vergleichen, ſo muß man gleiche Widerſtände und gleiche Säure anwenden; die Nichtberückſichtigung dieſes Umſtandes mag wohl ſchon zu mannigfachen Täuſchungen über die Beſtändigkeit einzelner Ketten Veranlaſſung gegeben haben.

So führt man Ketten als ſehr conſtant an, welche aus Zink und Kup-

ferplatten beſtehen, die in den feuchten Erdboden eingegraben ſind. Solche Ketten können natürlich nur ſehr ſchwache Ströme geben, weil der Leitungswiderſtand zwiſchen den Platten ſehr groß iſt, es iſt alſo wohl begreiflich, daß der Strom dieſer Ketten länger conſtant bleibt, als wenn man die Platte in Säure eintaucht.

Fürſt Bagrotion ſtellte Platten in Gefäße, die mit Sand gefüllt ſind, welcher mit einer Salmiaklöſung mäßig befeuchtet wird. Garnier wendet ſolche Ketten mit Erfolg an, um elektromotoriſche Uhren damit im Gang zu halten (Dingler's pol. Journ. 110. Bd. S. 177.); hier reicht nämlich eine ſehr geringe Stromſtärke hin, um den kleinen Elektromagneten einen hinlänglichen ſtarken Magnetismus zu ertheilen.

Garnier's Apparat hatte folgende Einrichtung. Der Sand befand ſich in einem Fäßchen; Zink und Kupfer hatten die Form von Cylindern, das Kupfer bildet den äußeren, das Zink den inneren. Die Oberfläche des Kupfers war 1,5, die des Zinks 1,3 Quadratdecimeter. Ein ſolches Element hielt den Apparat 2½ Monat lang in Gang. Wendet man eine Batterie aus mehreren ſolchen Elementen an, ſo läßt ſich die Einrichtung treffen, daß man ohne den Strom zu unterbrechen ein einzelnes Plattenpaar herausnehmen und erneuern kann.

Koppinsky (Dingler's Journal, 101 Band, pag. 222; technologiste, März 1846, Seite 241) fand die Erwartungen, die er ſich von dieſen Ketten gemacht hatte, nicht erfüllt. Wahrſcheinlich hat er ſtarke Ströme mit denſelben hervorbringen wollen. Auch beläſtigten ihn die Salmiakdämpfe. Die ungünſtigen Reſultate ſind nach ſeiner Anſicht der Iſolirung zuzuſchreiben, weil ſich die Batterie nicht mit Elektricität aus dem Boden ſpeiſen kann und weil ſie nicht vor dem Einfluß der Luft geſchützt wird, welche alſo die durch die Berührung der Metalle erzeugte Elektricität neutraliſiren kann.

Ich führe dies als ein Beiſpiel an, welchen abenteuerlichen Vorſtellungen über den galvaniſchen Strom und die galvaniſche Kette man in techniſchen Zeitſchriften noch begegnet. Die Redactionen techniſcher Zeitſchriften ſollten in der That in ſolchen Fällen kritiſcher ſeyn und ſolche Behauptungen, welche nur geeignet ſind, Leute zu verwirren, die keine gründlichen phyſikaliſchen Kenntniſſe haben, entweder gar nicht paſſiren zu laſſen oder doch mit den nöthigen Erläuterungen zu begleiten.

Nachdem alle übrigen Ketten keine Gnade bei ihm gefunden haben, ſchlägt endlich Koppinsky vor, für galvanoplaſtiſche Arbeiten Zinkkupferelemente anzuwenden, deren Platten 1 Quadratmeter Oberfläche haben und die 2 bis 3 Millimeter weit von einander entfernt in verdünnter Schwefelſäure eingetaucht ſind. — Es iſt dies eine der älteſten Formen, die man großplattigen Elementen gegeben hat, und die ſpäter ſehr zweck-

mäßig von Hare in die Form einer Spirale umgewandelt wurde; von dieſer Seite enthält alſo Koppinsky's Vorſchlag durchaus nichts neues. Neu, aber auch zwecklos, iſt dagegen die Vorſchrift, die Säure in Gefäßen von nicht harzigem Holze zu gießen und auf feuchten Boden zu ſetzen.

Wie ſchwach der Strom iſt, welchen in den feuchten Boden eingegrabene Metallplatten liefern, geht aus den Verſuchen von Weekes hervor (Dingler's Journal, 97. Band, Seite 194), welcher mit einer Zink- und einer Eiſenplatte, deren jede 54 Quadratdecimeter Oberfläche hatten und die in nicht ſehr feuchtem Boden eingegraben waren, einen Strom erhielt, welcher die aſtatiſche Nadel eines Multiplicators um 87° ablenkte, welche Ablenkung jedoch bald auf 61° fiel. Der Strom war alſo außerordentlich ſchwach.

Eine Säule von 36 Paaren dieſer Art gab zwiſchen Kohlenſpitzen ein Licht, welches ſtark genug war, um in ½ Meter Entfernung noch feinen Druck leſen zu können. Vergleicht man dieſen höchſt unbedeutenden Effect mit der glänzenden Lichterſcheinung, welche 36 Zinkkohlen- oder Zinkplatinelemente hervorzubringen im Stande ſind, ſo begreift man in der That kaum, wie Herr Weekes die Hoffnung hegen mag, ſolche Ketten könnten ein vortheilhaftes Beleuchtungsmittel geben.

Freilich waren die Platten des Herrn Weekes in ziemlich trockenen Boden eingeſetzt; bei feuchterem Boden werden ſie allerdings einen ſtärkeren Strom lieferen, doch nie ſo ſtark, als ob man die Platten direct in Waſſer eingetaucht hätte. Befeuchtet man den Sand mit einer Salmiaklöſung, ſo wird die Stromſtärke ſich doch nie derjenigen nähern können, welche dieſelben Platten, in Salmiaklöſung getaucht, zu liefern im Stande ſind. Solche eingegrabene Platten können alſo höchſtens in ſolchen Fällen angewendet werden, wo man nur ſehr ſchwacher Ströme bedarf. Solche ſchwache Ströme kann man aber auch mit andern Ketten auf längere Zeit ziemlich conſtant erhalten, wenn man nur ſehr verdünnte Säuren anwendet. Jedenfalls haben die eingegrabenen Platten den Nachtheil, daß ſie nicht ſo zugänglich ſind, wie die Platten anderer Batterien.

116 **Smee'ſche Kette.** Die Smee'ſche Kette wurde von vielen Seiten ſehr gerühmt; ſie ſollte ſehr ſtarke Ströme liefern und auch bedeutend mehr conſtant ſeyn als andere Ketten mit einer Flüſſigkeit. Meſſungen wurden zur Unterſtützung dieſer Meinung nicht angeſtellt; ich habe ſie nicht beſtätigt gefunden.

Das Kupfer der Wollaſton'ſchen Batterie iſt bei der Smee'ſchen Kette durch Platin oder Silber erſetzt, welches mit Platinmoor überzogen iſt. Dieſen Ueberzug von Platinmoor erhält man, wenn man die wohl gereinigte Metallplatte von Platinkaliumchlorür eintaucht und mit dem negativen Pole einer nicht gar ſtarken Säule in Verbindung bringt, deren

poſitiver Pol gleichfalls in die Löſung eingetaucht iſt. Das Platin ſetzt ſich auf der negativen Polplatte ab. — Wenn die poſitive Polplatte ſelbſt von Platin iſt, ſo wird ſie durch das Chlor angegriffen und die Löſung behält ihren Sättigungsgrad.

Den beiden Flächen der platinirten Platte der Smee'ſchen Batterie ſtehen in einer Entfernung von ungefähr 1 Linie Zinkplatten gegenüber. Die Breite der Zinkplatten ſoll nur $\frac{1}{3}$ von der Breite der platinirten Platte ſeyn; was dies für einen Vortheil haben ſoll, kann ich nicht einſehen; bei dem Smee'ſchen Element, mit welchem ich Verſuche angeſtellt habe, iſt es nicht der Fall; in demſelben war die negative Platte eine platinirte Silberplatte.

Ich fand dieſes Element ungleich weniger conſtant als ein Wollaſton'ſches, die Schwankungen der Nadel waren viel bedeutender. Bei gleicher Flüſſigkeit gab das Smee'ſche Element in einer Verſuchsreihe, welche gerade ebenſo angeſtellt wurde wie die auf Seite 277 beſchriebene Verſuchsreihe, folgende Reſultate:

Einſchaltung	Ablenkung
0	30° geht raſch zurück auf
—	28
Kupferdraht	12,5
0	28,5
	nach einigen Schwankungen
0	25
Kupferdraht	12
0	25
Abgeſpült.	
0	28,5
0	26
	nach vielen Schwankungen
0	25
Meſſingdraht	5,5
—	5
0	29
0	26
0	24.

Nehmen wir im Mittel für die Einſchaltung 0, die Ablenkung 26°; bei Einſchaltung des Kupferdrahtes 12,25; des Meſſingdrahtes 5,5, ſo ergiebt ſich die elektromotoriſche Kraft des Smee'ſchen Elementes gleich **212**, alſo kaum merklich größer als die des Wollaſton'ſchen, welche, wie wir oben Seite 257 geſehen haben, 208 iſt. Bei gleicher Oberfläche ſind die Widerſtände beider Elemente ebenfalls ziemlich gleich; nach die-

ſen Verſuchen ſcheint es nicht, als ob das Smee'ſche Element irgend einen Vorzug vor dem Wollaſton'ſchen verdiene. Ob platinirtes Platin beſſere Reſultate liefert als platinirtes Silber, iſt noch zu ermitteln.

117 **Die Zinkkupferkette mit zwei Flüſſigkeiten.** Wenn das Kupfer der Zinkkupferkette in einer concentrirten Löſung von Kupfervitriol, das Zink in verdünnter Schwefelſäure ſteht, während beide Flüſſigkeiten durch eine poröſe Scheidewand getrennt ſind, ſo iſt die nachtheilige Wirkung der Polariſation größtentheils aufgehoben; die elektromotoriſche Kraft wird größer als bei der gewöhnlichen Zinkkupferkette, die Stromſtärke wird conſtant.

Die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette iſt (S. 257):

$$E = 470.$$

Nach Svanberg's Verſuchen (P. A. LXXIII. 290.) ändert ſich die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette nur wenig mit der Natur der Flüſſigkeit. Während das Kupfer in einer concentrirten Löſung von Kupfervitriol ſtehen blieb, ergaben ſich für verſchiedene Flüſſigkeiten, in welche das Zink eingetaucht wurde, folgende Werthe für die elektromotoriſche Kraft des Elementes (in willkürlicher Einheit ausgedrückt).

Für concentrirte Löſung von Zinkvitriol . .	15,6
dieſelbe ſtark verdünnt	15,9
» concentrirte Löſung von Kupfervitriol . .	16,6
dieſelbe ſtark verdünnt	16,2
» ganz ſchwach geſäuertes Waſſer	16,0
» ſtärker geſäuertes Waſſer	16,7.

Für ein Quadratdecimeter mittlerer Metallfläche iſt (Seite 259) der Widerſtand des Elements

$R = 78$ (Säure = 1 Thl. Schwefelſäure + 10 Thl. Waſſer).

Durch Anwendung einer Säure, welche 1 Theil Schwefelſäure auf 5 Theile Waſſer enthält, würde man den Widerſtand für die Flächeneinheit auf $R = 30$ herabbringen können. Dieſe Widerſtände beziehen ſich auf die irdenen Zellen; für Stöhrer'ſche Zellen würden ſich die Widerſtände ungefähr auf $\frac{1}{3}$ verringern, alſo ſeyn

$R = 26$ (1 Schwefelſäure auf 10 Waſſer)

$R = 10$ (1 Schwefelſäure auf 5 Waſſer)

Die Daniell'ſche Kette iſt wohl unter allen die conſtanteſte, was zum Theil daher rühren mag, daß die Säure weniger ſchnell abgenutzt wird, indem die durch Zerſetzung des Kupfervitriols frei werdende Säure wenigſtens theilweiſe durch die poröſe Zelle zur Flüſſigkeit übergeht, in welcher das Zink ſteht.

Ryhiner (Dingler's Journal, 110 Bd. Seite 418) ſchlägt vor,

das Zink durch Eiſen zu erſetzen, welches in einer Kochſalzlöſung ſteht. Was dieſe Combination für Vortheile gewähren ſoll, läßt ſich nicht recht einſehen. Jedenfalls iſt die elektromotoriſche Kraft derſelben geringer als die einer gewöhnlichen Daniell'ſchen Kette.

Ryhiner ſagt von ſeiner Kette: Sie übt zwar auf die Magnetnadel keine ſtarke Wirkung aus, beſitzt aber deſſen ungeachtet eine größere reducirende Kraft auf Metalllöſungen als die gewöhnliche Zinkbatterie!?

Herr Ryhiner ſcheint alſo nicht zu wiſſen, daß die chemiſchen Wirkungen des Stromes den magnetiſchen ſtets propotional ſind.

Uebrigens macht Ryhiner einen Vorſchlag, die Thonzellen durch Leinwandzellen zu erſetzen, welcher wohl ganz praktiſch ſeyn kann. Hinſichtlich der Thonzellen befindet man ſich in der That oft in Verlegenheit. Solche, die man vom Hafner machen läßt, ſind ſchlecht; gute kann man nicht überall bekommen; was um ſo ſtörender iſt, da die beſſer leitenden Zellen ſehr zerbrechlich ſind. Ryhiner's Zellen werden in folgender Weiſe angefertigt:

Von dichtem leinenen etwas dickem croiſirten Zeuge macht man Säcke ohne Boden, welche über eine Blechrolle geſpannt werden; darauf wird mit Mehlkleiſter 3 bis 4fach ſtarkes Papier, und darauf ein Stück Zitz oder dünne Leinwand geklebt. Der Boden wird durch einen platten Holzcylinder gebildet, in deſſen Cylinderfläche eine Rinne eingedreht iſt, ſo daß man den auf die angegebene Weiſe behandelten Leinwandcylinder mit Bindfaden feſtbinden kann. Die Blechrolle wird nun wieder hineingeſtellt und mit heißem Sande erwärmt. Wenn alles gehörig trocken iſt, gießt man geſchmolzenes Wachs oder Colofonium ein, um die Fugen am Boden gehörig zu ſchließen. Der obere Rand wird mit Bernſteinfirniß getränkt.

Ob dieſe Zellen wirklich empfehlenswerth ſind, kann ich aus eigener Erfahrung nicht beurtheilen.

Die Grove'ſche Kette. Nach meinen Meſſungen, welche auf 118
Seite 256 mitgetheilt wurden, die aber gerade für die Grove'ſche Kette keinen großen Anſpruch auf Genauigkeit machen, iſt die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette nach chemiſchem Maaß

829.

Andere Beobachter haben die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Säule nicht nach irgend einem abſoluten Maaße beſtimmt, ſondern nur mit der elektromotoriſchen Kraft der Daniell'ſchen Kette verglichen. Setzt man die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette gleich 1, ſo iſt die der Grove'ſchen:

Nach Jakobi	. . . .	1,666
» Buff	. . . .	1,712
» Poggendorff.	.	1,668
» id.	. .	1,565
	Mittel . .	1,653.

Nehmen wir nach meinen Meſſungen die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette nach chemiſchem Maaß gleich 470, ſo wäre alſo nach derſelben Einheit die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette im Mittel

$$470 \;.\; 1{,}653 = 777,$$

während ich den Werth für die elektromotoriſche Kraft dieſer Kette etwas höher, nämlich gleich 829, alſo ungefähr $6\frac{1}{2}$ Procent größer gefunden habe.

Einen Vergleich des Leitungswiderſtandes der Grove'ſchen Kette mit dem der Daniell'ſchen findet ſich bei den oben genannten Beobachtern nicht. — Eine ſolche Vergleichung kann ſich übrigens auch nur auf ein beſtimmtes Exemplar beziehen, da ſie mit der Natur der Thonzellen ſich ändert, und von dem Concentrationsgrad der Flüſſigkeit abhängt.

Eine Vergleichung der Widerſtände beider Ketten hat nur dann einen Sinn, wenn man für beide Thonzellen von derſelben Maſſe und gleiche Flüſſigkeit für die Zinkzelle anwendet, während die Kupferzelle der Daniell'ſchen Kette concentrirte Kupfervitriollöſung enthält und die Platinplatte der Grove'ſchen in ſtarker Salpeterſäure ſteht. Eine ſolche Vergleichung habe ich für die Grove'ſche Kette nicht gemacht, wohl aber für die Zinkkohlenkette, deren Widerſtand man unter ſonſt gleichen Umſtänden wohl dem der Grove'ſchen gleichſetzen kann. Wir werden alſo bei der Zinkkohlenkette auf die Widerſtandsvergleichung zurückkommen.

Es iſt der Vorſchlag gemacht worden, die Salpeterſäure durch andere ſehr ſtark ſauerſtoffhaltige Körper, namentlich durch eine Löſung von ſaurem chromſauren Kali zu erſetzen. Für dieſe Flüſſigkeit fand Poggendorff die elektromotoriſche Kraft der Grove'ſchen Kette gleich

$$0{,}987,$$

wenn man die der Daniell'ſchen Kette gleich 1 ſetzt, alſo bedeutend geringer als für Salpeterſäure. Saures chromſaures Kali iſt alſo für die Grove'ſche Kette nicht zu empfehlen. —

Im 106ten Bande von Dingler's polytechniſchem Journal, Seite 154, wird mitgetheilt, daß an Grove'ſchen Ketten, die man bei elektriſchen Telegraphen anwandte, der Uebelſtand oft ſtörend auftritt, daß die Salpeterſäure durch die Thonzellen hindurchſickert, und das Zink ſo

ſtark angreift, daß man es täglich friſch amalgamiren muß. Kryſtalle von Glauberſalz in die verdünnte Schwefelſäure geworfen, ſollen dieſem Uebelſtande abhelfen. Der Erfolg dieſes Mittels ſey höchſt wahrſcheinlich dadurch zu erklären, daß Glauberſalz zerſetzt und ſalpeterſaures Natron gebildet werde, wodurch aber die freie Salpeterſäure wieder verſchwindet.

Die Bunſen'ſche Kette. Als Mittel aus allen meinen oben 119
Seite 256 mitgetheilten Verſuchen ergiebt ſich für die elektromotoriſche Kraft der Zinkkohlenkette nach chemiſchem Maaße der Werth

824.

Die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette gleich 1 geſetzt, iſt die elektromotoriſche Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff. 1,712,
nach Poggendorff. . 1,548.

In chemiſchem Maaße ausgedrückt, wäre alſo die elektromotoriſche Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff 805,

was mit meinem Mittel ſehr nahe übereinſtimmt,

nach Poggendorff . . 727,

welche Zahl wohl doch zu klein ſeyn dürfte. Jedenfalls iſt die elektromotoriſche Kraft der Bunſen'ſchen und der Grove'ſchen Kette ſo nahe gleich, daß man bei praktiſchen Anwendungen von dem etwaigen Unterſchied abſehen darf.

Nach Poggendorff bleibt die elektromotoriſche Kraft der Zinkkohlenkette faſt dieſelbe, wenn man die Salpeterſäure durch eine Löſung von ſaurem chromſaurem Kali erſetzt, ja für letztere Flüſſigkeit iſt ſie ſogar noch etwas größer und zwar im Verhältniß von 1,589 zu 1,548.

Nach den auf Seite 259 gemachten Mittheilungen verhält ſich bei gleicher mittlerer Oberfläche, gleichen Thonzellen und gleich ſtark verdünnter Schwefelſäure der Leitungswiderſtand der Zinkkohlenkette zu dem der Daniell'ſchen wie

43 zu 78,

oder wie

1 zu 1,8.

Stöhrer in Leipzig hat in neuerer Zeit die Zinkkohlenkette bedeutend verbeſſert und im Gebrauch bequemer gemacht. Seine Kohlencylinder ſind ſtatt in Zuckerwaſſer in Steinkohlentheer getränkt und dann nochmals geglüht. Sie ſind viel feſter und haben eine ungleich glättere Oberfläche als die früheren, was den großen Vortheil hat, daß ſie nicht ſo außerordentlich viel Salpeterſäure einſchlucken, wodurch die Anwendung der Zinkkohlenketten beſonders unangenehm und koſtſpielig wurde.

Bei den früheren Zinkkohlenketten war der Kupfer- oder Zinkring,

welcher den oberen Rand des Kohlencylinders umfaßte, meiſt abnehmbar. Stöhrer hat ihn ein- für allemal befeſtigt. Um den Rand des Kohlencylinders wird zunächſt ein Streifen von Meſſingdrahtgewebe gelegt und auf dieſes dann der Kupferring möglichſt feſt aufgeſchraubt. Der ganze obere Theil wird alsdann mit Siegellacklöſung überſtrichen. An dem Kupferring befindet ſich ein ungefähr 1 Zoll langes Drahtſtück, welches zur Herſtellung der Verbindung mit dem nächſten Zinkcylinder geht. An den Zinkcylinder iſt eine Art Drahtſeil befeſtigt, welches mit Gutta-Percha überzogen iſt und mit einer Schraubklemme endigt, welche an den Kupferdraht des folgenden Kohlencylinders angeſchraubt werden kann.

120 **Zinkeiſenketten.** Von vielen Seiten iſt vorgeſchlagen worden, das Eiſen anſtatt des Platins oder Kupfers zur Conſtruction galvaniſcher Ketten anzuwenden. Roberts conſtruirte eine Zinkeiſenkette in folgender Weiſe. Ein gußeiſernes Gefäß von 10 Zoll Höhe und 3,9 Zoll Durchmeſſer diente zur Aufnahme einer Miſchung von 1 Theil concentrirter Schwefelſäure und 3 Theilen ſtarker Salpeterſäure; in dieſe Flüſſigkeit wurde dann eine mit verdünnter Schwefelſäure gefüllte Thonzelle geſtellt, die zur Aufnahme des 9,9 Zoll hohen und 3,3 Zoll weiten Zinkcylinders diente.

Fünf ſolcher Elemente lieferten in einer Minute in einem in den Schließungsbogen eingeſchalteten Voltameter 40 Kubikzoll Knallgas. Allerdings iſt dies eine ſehr bedeutende Wirkung. (Dingler's Journal, 84ſter Band, Seite 386.)

Im 84ſten Bande von Dingler's Journal, Seite 385, beſchreibt Schönbein eine Zinkeiſenſäule, welche ebenfalls ſehr bedeutende Wirkungen hervorbrachte.

Zum Sprengen von Felſen ſchlägt Roberts eine Zinkeiſenkette mit einer Flüſſigkeit vor. (Dingler's Journal, 87ſter Band, Seite 104; Mechanic Magazine, 1842.) 20 Eiſenplatten und 20 Zinkplatten, jede von 7 Quadratzoll Oberfläche, ſind, in gehöriger Weiſe verbunden, auf einem Geſtell von Latten angebracht, welches man in einen Trog ſenken kann, welcher eine Miſchung von 1 Theil Schwefelſäure auf 10 Theile Waſſer enthält.

Callan conſtruirte eine Zinkeiſenkette (Dingler's Journal, 109ter Band, Seite 432. Phil. Mag., Juli 1848, Seite 49.) von ähnlicher Form, wie die war, welche Grove urſprünglich ſeiner Zinkplatinkette gegeben hatte; alſo mit rectangulären, glatten Thonzellen. Die Zellen waren 4½ Zoll lang und 4½ Zoll hoch.

Durch den Schlag einer aus 620 ſolchen Elementen zuſammengeſetzten Säule wurde ein Truthahn augenblicklich getödtet. — Sein Kropf war geborſten.

Callan ſagt, dieſe Batterie wirke 15mal ſtärker als eine gleich große Wollaſton'ſche und $1\frac{1}{2}$mal ſo ſtark als eine gleich große Grove'ſche. Dieſe Schätzung ſcheint höchſt oberflächlich zu ſeyn; es ſind durchaus keine Thatſachen, keine Meſſungen angegeben, aus denen man auch nur annähernd die Conſtanten dieſer Ketten berechnen könnte, ohne deren Kenntniß eine richtige Würdigung einer galvaniſchen Combination nicht möglich iſt.

Maaßbeſtimmungen für die Zinkeiſenkette finden ſich im 81ſten Bande von Dingler's Journal, Seite 273.

Poggendorff fand für die elektromotoriſche Kraft verſchiedener Combinationen folgende Werthe:

Zink-Platin . . .	100
Zink-Eiſen . . .	78,6
Zink-Stahl . . .	87,0
Zink-Gußeiſen . .	89,6,

wenn Zink in verdünnter Schwefelſäure, Platin, Eiſen u. ſ. w. in concentrirter Salpeterſäure ſteht. Die Leitungswiderſtände ſind bei allen dieſen Combinationen ziemlich gleich.

Die Eiſen-Eiſenketten. Daß man das Platin der Grove'ſchen 121
Ketten mit Erfolg durch Eiſen erſetzen kann, hängt ohne Zweifel damit zuſammen, daß Eiſen, in concentrirte Salpeterſäure getaucht, paſſiv wird und ſich in dieſem Zuſtande wie ein ſehr elektronegatives Metall verhält. — Wöhler und Weber kamen dadurch auf den Gedanken, daß ſich Eiſen, welches in concentrirter Salpeterſäure ſteht, zu Eiſen, welches in verdünnter Schwefelſäure getaucht iſt, ähnlich verhält wie Platin zum Zink. Der Erfolg beſtätigte dieſe Erwartung vollſtändig; ſie conſtruirten auf dieſe Weiſe eine ſehr kräftige Säule.

Es ergab ſich als ſehr vortheilhaft, für das in verdünnte Schwefelſäure eingetauchte Eiſen gewöhnliches Weißblech zu nehmen.

Auch Schönbein wurde durch ſeine Unterſuchungen über Paſſivität des Eiſens auf die Conſtruction einer Kette aus paſſivem und activem Eiſen geleitet. (Dingler's Journal, 84ſter Band, Seite 385.)

Die zweckmäßigſte Form der Eiſenſäule iſt wohl folgende. Ein gußeiſernes Gefäß nimmt die Salpeterſäure und die Thonzelle auf, in welcher ſich dann die verdünnte Schwefelſäure mit dem activen Eiſen befindet.

Der Anwendung der Eiſenſäule ſteht das ſtarke Roſten desjenigen Theils der Eiſengefäße, welcher aus der Flüſſigkeit vorragt, hindernd entgegen.

Callan's Zinkbleikette. Im Philosop. Magaz. für 1847 (Ser. 122
III. Vol XXXI. pag. 81.) beſchreibt Callan eine neue Volta'ſche Combination, von welcher Poggendorff im LXXII. Bande ſeiner Annalen, pag. 495, Bericht erſtattet. Das Platin der Grove'ſchen Kette iſt hier

durch platinirtes Blei erſetzt; dieſes ſteht in einem Gemiſch von 4 Theilen concentrirter Schwefelſäure, 2 Theilen Salpeterſäure und 2 Theilen geſättigter Salpeterlöſung. Das Zink ſteht in verdünnter Schwefelſäure, welche natürlich durch eine Thonzelle von der andern Flüſſigkeit getrennt iſt.

Die Wirkung dieſer Kette ſoll nach Callan's Angaben der einer Grove'ſchen nicht nachſtehen.

Poggendorff fand in der That die elektromotoriſche Kraft dieſer Combination gleich der der Grove'ſchen Kette; auch zeigte der Strom der Zinkbleikette mehrere Stunden lang dieſelbe Beſtändigkeit, wie der Strom der Zinkplatinkette; dagegen ergab ſich kein Vortheil von dem Zuſatz der Salpeterlöſung zur Salpeterſäure; der Zuſatz der concentrirten Schwefelſäure aber hat außer dem Vortheil, das Blei vor dem Angriff der Salpeterſäure zu ſchützen (was der Platinüberzug als lockeres Pulver nicht vermag), noch den ſehr ſchätzbaren, daß er die Anwendung einer verdünnten Salpeterſäure geſtattet.

Streng genommen iſt dieſe Kette ebenfalls eine Zinkplatinkette, indem das Blei eigentlich nur der Träger der dünnen Platinſchicht iſt, ſo daß Zink und Platin die Endglieder des in die Flüſſigkeit eingetauchten Metallbogens ſind.

123 **Zweckmäßigſte Combination einer gegebenen Anzahl Volta'ſcher Elemente, um bei gegebenem Schließungsbogen die größte Wirkung zu erhalten.** Theoretiſch iſt der in der Ueberſchrift bezeichnete Gegenſtand zwar ſchon lange erledigt, die Beweiſe ſind aber meiſt nur mit Hülfe höherer Rechnung geführt, und die ganze Form der Darſtellung ſo gehalten, daß die praktiſche Anwendung des Satzes immer mehr angedeutet als durchgeführt iſt; eine etwas ausführlichere Beſprechung dürfte deshalb wohl am Platze ſeyn.

Gewöhnlich wird die Frage ſo aufgeſtellt: Wie hat man über eine gegebene Metalloberfläche, die zur Conſtruction Volta'ſcher Elemente benutzt werden ſoll, zu disponiren (d. h. wie viel Elemente und wie groß ſoll man ſie machen), damit bei gegebenem Schließungsbogen ein Maximum von Wirkung erhalten wird?

Dieſe Form der Frage entſpricht nicht ganz den in der Praxis vorkommenden Fällen. Man iſt meiſtens nicht in dem Falle, die Volta'ſche Batterie für einen beſtimmten Schließungsbogen zu conſtruiren, ſondern es handelt ſich darum, wie man eine disponible Anzahl von galvaniſchen Elementen combinire, um ein Maximum des Effectes zu erhalten?

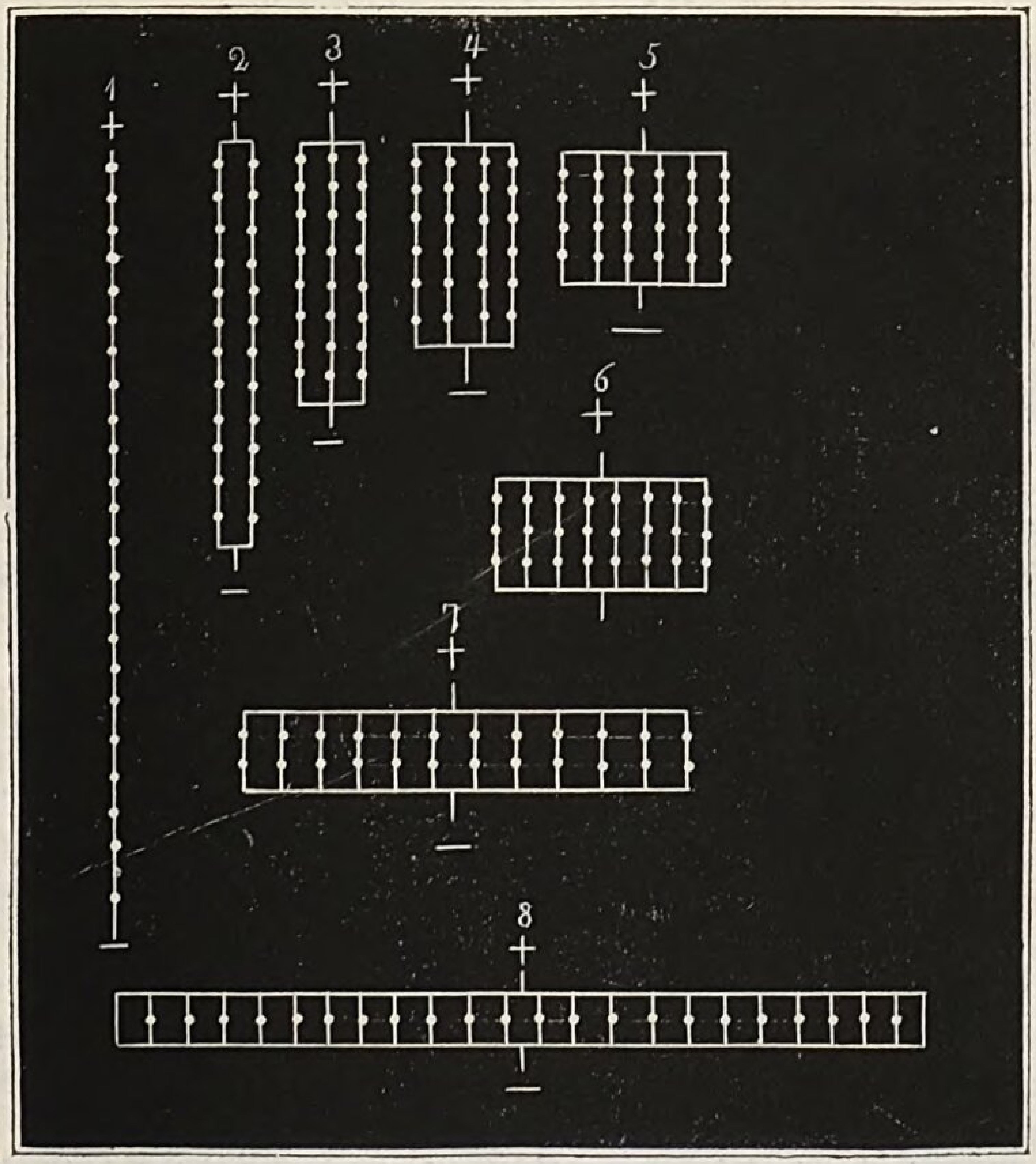
Ein Maximum der Stromſtärke erhält man von einer gegebenen Anzahl von Elementen, wenn man ſie ſo ordnet,

daß der Widerſtand in der Kette dem Widerſtande im Schließungsbogen gleich iſt.

Ich will den Satz zuerſt erläutern, dann beweiſen.

Eine gegebene Anzahl von Elementen läßt ſich auf die mannigfachſte Weiſe combiniren. Z. B. 24 Elemente kann man, wie dies in Fig. 100 anſchaulich gemacht wird, auf 8 verſchiedene Arten ordnen:

Fig. 100.



1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Elementen,
2) „ „ „ „ 12 doppelten „
3) „ „ „ „ 8 dreifachen „
4) „ „ „ „ 6 vierfachen „
5) „ „ „ „ 4 ſechsfachen „
6) „ „ „ „ 3 achtfachen „
7) „ „ „ „ 2 zwölffachen „
8) „ „ „ „ 1 vierundzwanzigfachen Elemente.

Welche von dieſen Combinationen in einen beſtimmten Fall zu wählen ſey, hängt vom Leitungswiderſtande des Schließungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerſtand dem des gegebenen Schließungsbogens am nächſten ſteht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerſtand eines Elementes, ſo iſt der Widerſtand

für die 1. Combination	. .	24,
» » 2. »	. .	6,
» » 3. »	. .	2,666,
» » 4. »	. .	1,5,
» » 5. »	. .	0,666,
» » 6. »	. .	0,375,
» » 7. »	. .	0,166,
» » 8. »	. .	0,0416.

Iſt der Widerſtand des gegebenen Schließungsbogens kleiner als 0,1 von dem Widerſtande eines Elementes, ſo hat man die letzte Combination zu wählen, die erſte aber, wenn der Leitungswiderſtand des Schließungsbogens größer iſt als der von 15 Elementen. Liegt der zu überwindende Widerſtand zwiſchen 15 und 4,3 — zwiſchen 4,3 und 2 — zwiſchen 2 und 1,08 u. ſ. w., ſo hat man die 2te, 3te, 4te u. ſ. w. Combination zu wählen.

Der eben erläuterte Satz muß nun noch bewieſen werden.

Betrachten wir die verſchiedenen Combinationen von 24 Elementen, wie ſie in Fig. 101 dargeſtellt ſind, ſo überſieht man leicht, daß, wenn man die Säule verkürzt, ſie in demſelben Verhältniß breiter wird, d. h. wenn man weniger Elemente hinter einander ſetzt, ſo kann man bei Anwendung der gleichen Elementenzahl in demſelben Verhältniß mehr Elemente neben einander ſetzen.

Gehen wir von der zweiten Combination aus. Wir haben hier 12 Doppelelemente. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, alſo auf 6, ſo können wir die Breite jedes Elementes verdoppeln, wir haben jetzt 6 vierfache Elemente.

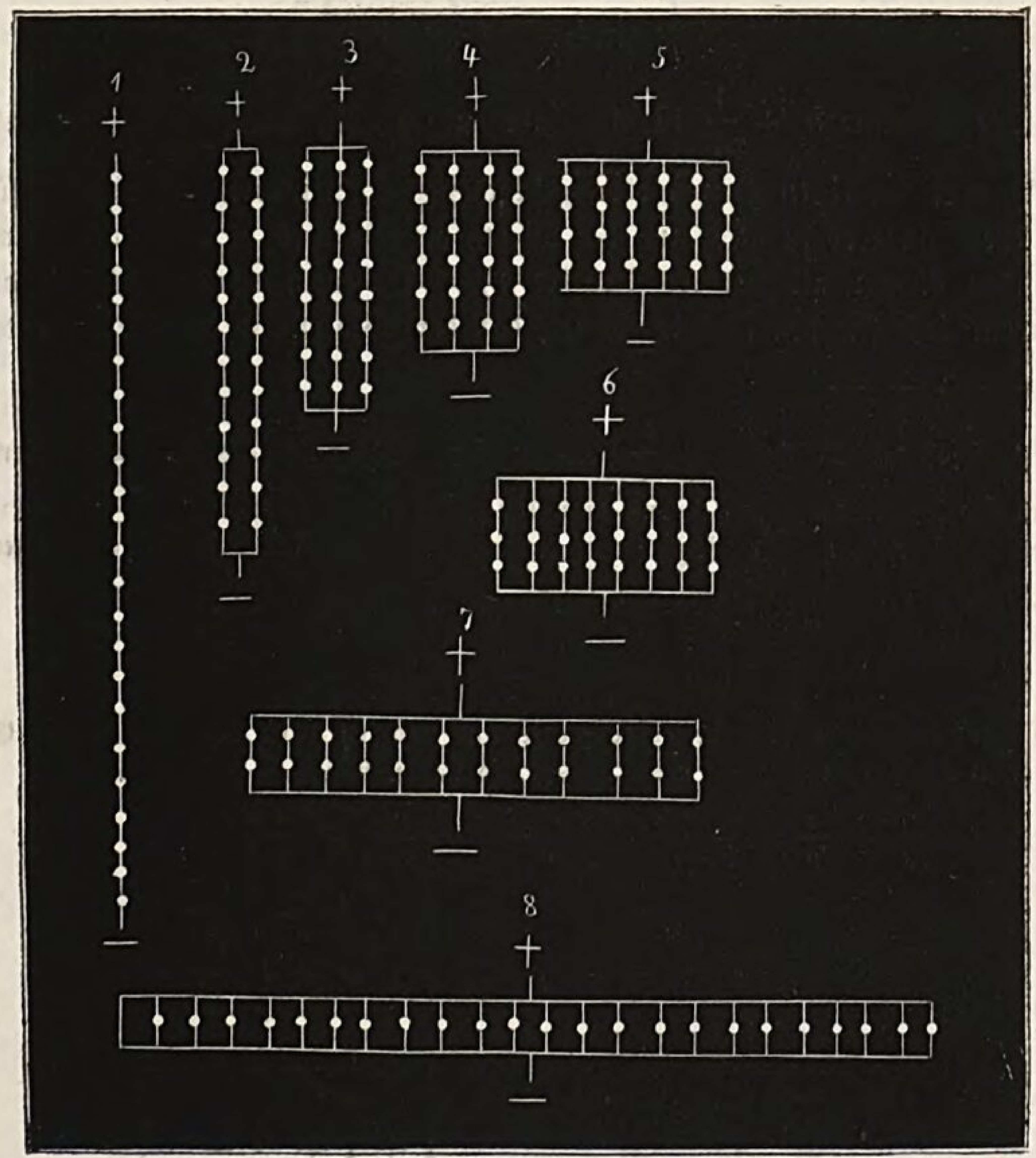
Macht man die Säule 3mal kürzer, ſo kann man 3mal ſoviel einzelne Elemente zu einem vereinigen; aus 12 zweifachen Elementen erhält man 4 ſechsfache. Kurz, wenn man die Säule a mal kürzer macht, ſo kann man a mal ſoviel Einzelelemente zu einem vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Elemente a mal kleiner wird, ſo wird die elektromotoriſche Kraft dadurch a mal kleiner; hätte man nun die Kette bloß a mal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu laſſen, ſo würde auch der Leitungswiderſtand a mal kleiner geworden ſeyn; wenn aber jedes Element der einen Säule aus a mal ſo

vielen Einzelelementen beſteht als früher, ſo wird nun der Widerſtand in der That a^2mal kleiner als vorher.

So iſt der Leitungswiderſtand für 6 vierfache Elemente (Combination Nr. 4) 4mal kleiner als für 12 Doppelelementen (Combination 2), er iſt für 4 ſechsfache Elemente (Combination 5) 9mal kleiner als für 12 doppelte u. ſ. w.

Fig 101.



Nach dieſer Auseinanderſetzung iſt nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es ſey für irgend eine Combination mehrerer Elemente die elektromotoriſche Kraft E der weſentliche Leitungswiderſtand l. Wird dieſe Säule durch einen Schließungsbogen geſchloſſen, deſſen Widerſtand ebenfalls l iſt, ſo iſt nach dem Ohm'ſchen Geſetze die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{l+l} = \frac{E}{2l} \quad \ldots\ldots 1)$$

Wird nun die Säule $a$mal kürzer, die einzelnen Elemente aber $a$mal breiter gemacht, ſo wird die elektromotoriſche Kraft $a$mal kleiner, ſie wird $\frac{E}{a}$; der Leitungswiderſtand der Kette wird aber $\frac{l}{a^2}$, die Stromſtärke wird alſo jetzt bei gleichem Schließungsbogen

$$S' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{l}{a^2} + l} = \frac{E}{l\left(a + \frac{1}{a}\right)} \quad \ldots\ldots 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ iſt nun aber unter allen Umſtänden größer als 2 *), was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a ſetzen mag; es iſt alſo auch der Werth des Bruches 2) unter allen Umſtänden kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromſtärke für den Fall bezeichnet, daß der Widerſtand im Elektromotor

---

*) Daß die Summe $a + \frac{1}{a}$ wirklich ſtets größer iſt als 2, davon kann man ſich leicht überzeugen, wenn man für a der Reihe nach 1, 2, 3, 4 u. ſ. w. oder $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. ſ. w. ſetzt; man kann dieſen Satz aber auch leicht beweiſen. Setzen wir der größeren Allgemeinheit wegen $a = \frac{r}{s}$, ſo iſt

$$a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} = \frac{s}{r},$$

wo r ſowohl als s jede beliebige ganze und poſitive Zahl bedeuten kann. Es ſey nun $s > r$, und zwar $s = r + t$, ſo haben wir

$$\begin{aligned}\frac{r}{s} + \frac{s}{r} = \frac{r}{r+t} + \frac{r+t}{r} &= \frac{r}{r+t} + \frac{t}{r} + 1 \\ &= 1 + \frac{r^2 + rt + t^2}{r(r+t)} \\ &= 1 + \frac{(r+t)^2 - rt}{r(r+t)} \\ &= 1 + \frac{r+t}{r} - \frac{t}{r+t} \\ &= 1 + 1 + \frac{t}{r} - \frac{t}{r+t} \\ &= 2 + t\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+t}\right)\end{aligned}$$

da nun $r + t$ jedenfalls größer iſt als r, ſo iſt der in den letzten Klammern ſtehende Ausdruck poſitiv, mithin auch $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ größer als 2. Da aber $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ nur eine veränderte Form für den Ausdruck $a + \frac{1}{a}$ iſt, ſo iſt alſo auch $a + \frac{1}{a} > 2$.

dem Widerſtand des Schließungsbogens gleich iſt, der Bruch 2) aber den Werth der Stromſtärke für den Fall, daß dieſelbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weiſe combinirt iſt, ſo iſt hiermit der fragliche Satz bewieſen.

Die Anwendung dieſes Satzes mag durch ein Beiſpiel erläutert werden. — Man will zur Magnetiſirung eines Elektromagneten den Strom von 24 Zinkkohlen-Elementen anwenden; der Widerſtand eines Elementes, mit ſchwacher Säure geladen, iſt 15,05 (Seite 258). Der Widerſtand der Windungen des Elektromagneten aber ergab ſich gleich dem von 13,54 Meter Normaldraht, der Widerſtand des Schließungsbogens iſt alſo 0,9 von dem eines einzelnen Elementes. Ein Blick auf die Zuſammenſtellung Seite 289 ſagt uns, daß wir die fünfte Combination als die vortheilhafteſte wählen müſſen, weil ihr Widerſtand 0,66 dem des Schließungsbogens näher iſt, als der der anderen Combinationen. Setzen wir der Kürze halber die elektromotoriſche Kraft des Elementes gleich 1, den Widerſtand derſelben ebenfalls gleich 1, ſo ergeben ſich, wenn man der Reihe nach alle 8 Combinationen als Elektromotoren für den eben beſprochenen Elektromagneten anwenden wollte, für die Stromſtärke folgende Werthe:

$$1 \quad \dots\dots \quad \frac{24}{24 + 0{,}9} = 0{,}963$$

$$2 \quad \dots\dots \quad \frac{12}{6 + 0{,}9} = 1{,}74$$

$$3 \quad \dots\dots \quad \frac{8}{2{,}666 + 0{,}9} = 2{,}24$$

$$4 \quad \dots\dots \quad \frac{6}{1{,}5 + 0{,}9} = 2{,}5$$

$$5 \quad \dots\dots \quad \frac{4}{0{,}666 + 0{,}9} = \mathbf{2{,}54}$$

$$6 \quad \dots\dots \quad \frac{3}{0{,}375 + 0{,}9} = 2{,}36$$

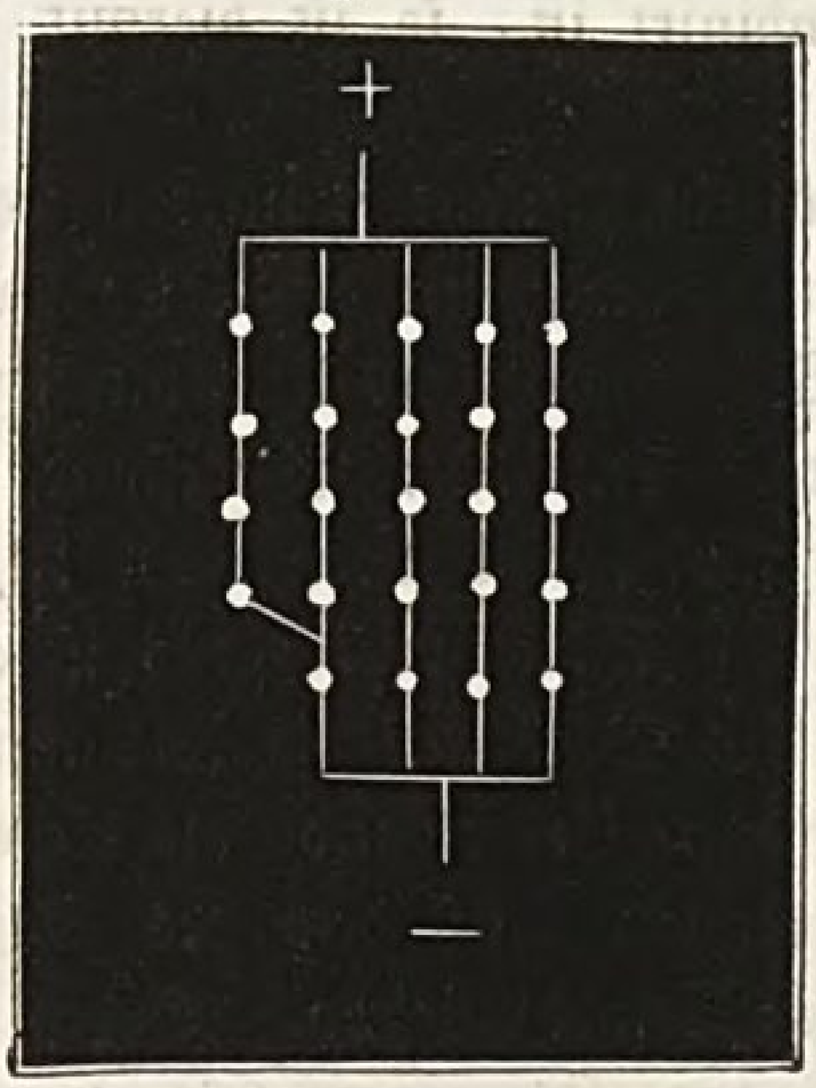
$$7 \quad \dots\dots \quad \frac{2}{0{,}166 + 0{,}9} = 1{,}85$$

$$8 \quad \dots\dots \quad \frac{1}{0{,}042 + 0{,}9} = 1{,}61.$$

Man ſieht hier, daß für die Combination 5 die Stromſtärke, und alſo auch, da ja die Drahtwindungen der Elektromagnete ungeändert bleiben, der Magnetismus des weichen Eiſens größer ſeyn wird als bei den übrigen Combinationen. Die Combination 4 kommt in ihrer Wirkung der Combination 5 ſehr nah, das eigentliche Maximum läßt ſich alſo zwiſchen 4

und 5 erwarten. In der That giebt die in Fig. 102 dargeſtellte Combination die Stromſtärke 2,56.

Fig. 102.



Ladet man dieſelben Elemente mit ſtärkerer Säure, ſo wird der Widerſtand des Elementes 5,85; der Widerſtand des Schließungsbogens iſt 2,3mal ſo groß als der eines Elementes, und für dieſen Fall wäre die dritte Combination (8 dreifach Elemente) die vortheilhafteſte.

Die vortheilhafteſte Combination für einen gegebenen Waſſerzerſetzungsapparat werden wir weiter unten betrachten.

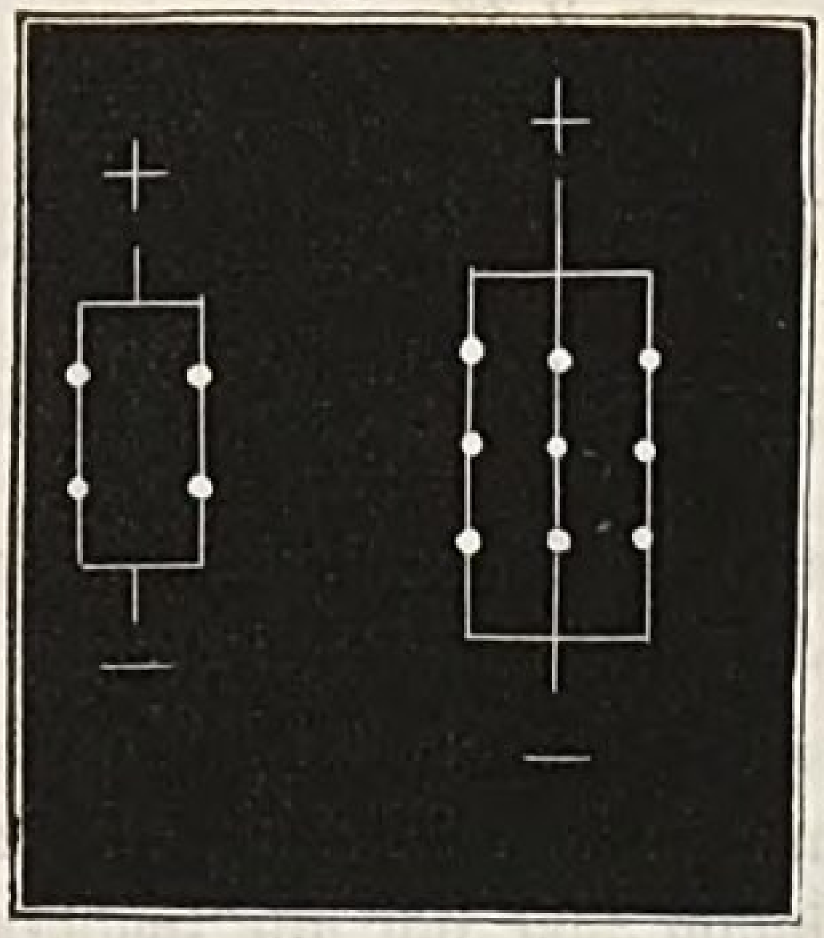
Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Elementen ſo combinirt, daß ſie in einem gegebenen Schließungsbogen ein Maximum von Stromſtärke geben, ſo wird eine Vermehrung der Elemente die Stromſtärke im günſtigſten Falle nur im Verhältniß der Quadratwurzel aus der Elementenzahl vergrößern; man muß alſo 4mal, 9mal, 16mal ſo viel Elemente anwenden, um die 2fache, 3fache, 4fache Wirkung zu erhalten.

Suchen wir dies erſt an einem ſpeciellen Fall nachzuweiſen. Es ſey der Widerſtand des Schließungsbogens gleich r, gleich dem Widerſtande eines Elementes, deſſen elektromotoriſche Kraft mit E bezeichnet werden ſoll, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{r + r} = \frac{E}{2\,r}.$$

Die Stromſtärke ſoll nun durch Vermehrung der Elementenzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben, ſo muß der Widerſtand in der Kette ſo groß bleiben als der Widerſtand des Schließungsbogens, der Widerſtand der neuen Combination darf alſo nicht größer werden als der eines einzigen Elementes; wir werden alſo die doppelte Stromſtärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerſtande die elektromotoriſche Kraft verdoppeln. Die elektromotoriſche Kraft wird verdoppelt dadurch, daß 2 Elemente hinter einander geſetzt werden; wir müſſen aber 2 Doppelelemente nehmen, wenn ihr Widerſtand eben ſo groß ſeyn ſoll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 102 wird alſo eine 2mal, die Combination Fig. 103 wird eine 3mal ſo große Stromſtärke geben als ein einzelnes Element.

Fig. 103.



Betrachten wir die Sache etwas allgemeiner, *a* Becher ſeyen ſo combinirt, daß der Widerſtand der Kette dem Widerſtande des Schließungsbogens gleich iſt, daß alſo das Maximum der Wirkung erreicht wird, welches die *a* Becher in dem gegebenen Schließungsbogen hervorbringen können. Stellt man 2mal, 3mal, ...*n*mal ſo viel Becher neben einander, ſo daß jedes Element der Säule alſo gleichſam eine 2mal, 3mal, ... *n*mal größere Oberfläche erhält; macht man aber gleichzeitig die Säule auch 2, 3, . . . *n*mal ſo lang, indem man auch 2, 3 . . . *n*mal ſo viel Elemente hinter einander ſtellt; ſo hat man in allen 4mal, 9mal . . . . n^2mal ſo viel Becher verwandt. Der Widerſtand der Kette bleibt dabei unverändert, die Stromſtärke wächſt alſo in demſelben Verhältniß, in welchem die elektromotoriſche Kraft, in welchem die Zahl der hinter einander ſtehenden Elemente zunimmt, ſie iſt alſo 2, 3, . . . *n*mal größer geworden. Mit 4 *a*, 9 *a* . . . n^2 *a* Becher können wir alſo im günſtigen Fall eine 2mal, 3mal, *n*mal größere Stromſtärke erhalten, als die iſt, welche man mit *a* Elementen erzielen kann.

Zweckmäßigſte Einrichtung des Schließungsbogens, um mit einem gegebenen Elektromotor ein Maximum von Wirkung zu erhalten. 124 In anderen Fällen iſt der Elektromotor gegeben, und man fragt, wie muß man die Drahtwindungen wählen, um ein Maximum von Wirkung zu erhalten; ſoll man aus derſelben Quantität Kupfer viele Windungen eines dünnen und langen Drahtes, oder weniger Windungen mit kürzerem und dickerem Drahte machen. Bei Multiplicatoren iſt die Quantität des Kupferdrahtes, welche man anzuwenden hat, begränzt durch die Größe des Raumes, welchen man zweckmäßiger Weiſe mit Drahtwindungen ausfüllen kann; bei Elektromagneten iſt die Quantität des Kupferdrahtes durch die Geldſumme bedingt, welche man zu ſeiner Conſtruction verwenden will.

Nehmen wir an, der Widerſtand eines Kupferdrahtes von einer beſtimmten Länge und Dicke, welche *n* Windungen giebt, ſey gleich *l*, gleich dem weſentlichen Widerſtande des Elektromotors, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{l + l} = \frac{E}{2\,l},$$

und dieſe Stromſtärke wirkt in *n* Windungen auf die Magnetnadel oder das weiche Eiſen, wir können dieſe Wirkung ſo bezeichnen mit

$$M = n \cdot \frac{E}{2\,l} \; . \; . \; . \; . \; . \; 1)$$

Macht man den Draht bei unveränderter Maſſe *m*mal ſo lang, ſo wird ſein Querſchnitt *m*mal kleiner, und alſo der Widerſtand m^2mal größer, die Stromſtärke iſt alſo jetzt

$$S' = \frac{E}{l + m^2\,l} = \frac{E}{l\,(1 + m^2)},$$

aus dieſer Drahtlänge kann man aber $m$mal ſo viel Windungen machen als vorher, die magnetiſche Wirkung iſt alſo jetzt

$$M' = m \cdot n \cdot \frac{E}{l\,(m^2+1)} = n \frac{E}{l\left(m + \frac{1}{m}\right)} \quad \ldots\ldots 2)$$

Der Werth von M iſt aber, wie ſchon oben bewieſen wurde, ſtets größer als der Werth von M' in Gleichung 1). Mit einer gegebenen Drahtmaſſe erreicht man alſo ein Maximum magnetiſcher Wirkung, wenn man dem Draht eine ſolche Dicke und Länge giebt, daß der Widerſtand in den Windungen dem Widerſtande des Elementes gleich iſt.

Man will z. B. 8 Pfund Kupferdraht zur Conſtruction eines Elektromagneten verwenden, zu deſſen Erregung man eines der oben Seite 256 beſprochenen Daniell'ſchen Elemente zu benutzen gedenkt; wie dick muß man den Draht machen?

Der Widerſtand jenes Elementes iſt gleich dem Widerſtande von 11,1 Meter Normaldraht. Der Normaldraht hat einen Querſchnitt von 0,785 Quadratmillimeter oder 0,00785 Quadratcentimeter; eine Länge von 11,1 Metern oder 1110 Centimetern hat alſo einen Körperinhalt von 8,71 Kubikcentimetern. Das ſpecifiſche Gewicht des zu Draht gezogenen Kupfers iſt 8,88; mithin beträgt das Gewicht des Normaldrahtes, welcher gleichen Leitungswiderſtand wie das Element hat, $8{,}71 \times 8{,}88 = 77{,}34$ Grm.

Die Drahtmaſſe, über welche man zu disponiren hat, wiegt aber nicht 77,34 Gramm, ſondern ſie wiegt 8 Pfund oder 4000 Grm., wir haben alſo eine $\frac{4000}{77{,}34} = 51{,}7$ mal ſo große Drahtmaſſe als die des Normaldrahtes, welcher die Bedingung erfüllt.

Wenn man ſtatt eines Drahtes von beſtimmtem Durchmeſſer und beſtimmter Länge einen Draht von 3fachem Durchmeſſer nimmt, ſo iſt ſein Querſchnitt $3 \cdot 3 = 9$mal größer, man muß alſo auch dem Draht eine 9fache Länge geben, wenn der Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll; das Volumen des Drahtes iſt jetzt $81 = 3^4$mal ſo groß als es vorher war. Ein $n$mal ſo dicker Draht muß von n^2mal ſo großer Länge, alſo von n^4mal ſo großer Maſſe genommen werden, wenn ſein Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll.

Bei $p$facher Maſſe muß man alſo dem Draht eine $\sqrt{p}$fache Länge und einen $\sqrt[4]{p}$fachen Durchmeſſer geben, wenn der Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll.

Die Kupfermaſſe, über welche wir zu disponiren haben, iſt 51,7mal ſo

groß als die eines Normaldrahtes, welcher denſelben Leitungswiderſtand ausübt wie das Element, wir müſſen alſo aus dieſer Kupfermaſſe einen Draht machen, welcher $\sqrt{51,7} = 7,18$ mal ſo lang und $\sqrt[4]{51,7} = 2,68$ mal ſo dick iſt als der 11,1 Meter lange Normaldraht. Wenn alſo die 8 Pfund Kupferdraht als Draht denſelben Leitungswiderſtand ausüben ſollen, wie das Daniell'ſche Element, ſo muß man den Draht 2,68 Millimeter dick wählen, wobei er eine Länge von $7,18 \times 11,1 = 79,7$ Meter hat.

Hätte man den Elektromagneten für ein Stöhrer'ſches Element einrichten wollen, deſſen weſentlicher Widerſtand gleich dem von 6,2 Metern Normaldraht iſt, ſo hätte ſich aus ähnlichen Betrachtungen ergeben, daß man die 8 Pfund von einem 3,1 Millimeter dicken Draht hätte nehmen müſſen; die Länge deſſelben ergiebt ſich gleich 60 Metern.

Wendet man den für die Daniell'ſche Kette conſtruirten Elektromagneten und dieſe Kette an, ſo iſt die Stromſtärke

$$\frac{E}{11,1 + 11,1} = \frac{E}{22,2}.$$

Iſt der Draht in n Windungen um das Eiſen gefügt, ſo können wir den magnetiſchen Effect mit

$$M = n . \frac{E}{22,2}$$

bezeichnen. Hätte man den Draht doppelt ſo lang, alſo von halbem Querſchnitt gewählt, ſo wäre ſein Widerſtand 4mal größer, alſo 44,4, und die Stromſtärke $\frac{E}{11,1 + 44,4} = \frac{E}{55,5}$ geworden; dieſe Stromſtärke wird aber in $2\,n$ Windungen um das Eiſen geführt, alſo wäre jetzt der magnetiſche Effect

$$M' = 2n \frac{E}{55,5} = n \frac{E}{27,7}.$$

Hätte man einen halb ſo langen Draht von doppeltem Querſchnitt genommen, ſo hätte man den magnetiſchen Effect

$$M'' = \tfrac{1}{2} n \frac{E}{13,9} = n \frac{E}{27,8}$$

erhalten. Man ſieht, daß in der That die Werthe von M' und M'' kleiner ſind als der von M.

Nach dieſen Principien läßt ſich auch ermitteln, wie man zu einer gegebenen thermoelektriſchen Säule einen möglichſt empfindlichen Multiplicator zu conſtruiren habe, eine Frage, welche auf theoretiſchem Wege freilich ſchon lange gelöſt iſt; bis jetzt aber hat man es immer noch verſäumt, dieſer Löſung eine für die praktiſche Anwendung leicht zugängliche Form

zu geben. Wir wollen uns deshalb bei dieſem Gegenſtand noch etwas verweilen.

So beſitzt z. B. unſer phyſikaliſches Cabinet eine thermoelektriſche Säule mit dazu gehörigem Galvanometer. Ich fand den

Widerſtand der Thermoſäule = 18,34 Meter Normaldraht
» des Multiplicatordrahts 1,75 » »

Der Widerſtand des Multiplicatordrahtes iſt alſo über 10mal geringer als der Widerſtand der Thermoſäule.

Bezeichnen wir die elektromotoriſche Kraft der Thermoſäule mit E, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{18,34 + 1,75} = \frac{E}{20},$$

dieſe Stromſtärke wird in n Windungen um die Nadel geführt, der magnetiſche Effect iſt alſo

$$M = n\,\frac{E}{20}.$$

Hätte man nun dieſelbe Drahtmaſſe zur dreifachen Länge ausgezogen, ſo wäre ihr Widerſtand 9mal größer, er wäre $9 \times 1,75 = 15,75$ = alſo in der That nahe gleich dem der Thermoſäule geworden. Nun wäre die Stromſtärke.

$$S' = \frac{E}{18,3 + 17,75} = \frac{E}{36}$$

und die magnetiſche Wirkung

$$M' = 3n\frac{E}{36} = n\,\frac{E}{12}$$

geworden, weil wir ja jetzt den Strom in 3 n Windungen um den Draht führen. Der Werth M' iſt in der That nahe doppelt ſo groß als M.

Bei gleicher Quantität Kupferdraht könnte alſo der Multiplicator für die beſagte Thermoſäule doppelt ſo empfindlich gemacht werden, wenn man den Draht zu dreifacher Länge auszöge, ſo daß er dreimal ſoviel Windungen von dreimal geringerem Querſchnitt gäbe.

Daß man den Draht zu dieſem Multiplicator zu kurz und zu dick genommen hat, rührt ohne Zweifel daher, daß man von der Vorausſetzung ausging, der Leitungswiderſtand der Thermoſäule, welche aus lauter Metallen beſteht, könne nicht groß ſeyn, man dürfe alſo nur einen etwas dicken nicht zu langen Draht wählen. — Man ſieht, daß man in ſolchen Dingen mit ungefähren Schätzungen nicht ausreicht.

125 **Vergleichung der Wirkung verſchiedener Ketten in gegebenen Fällen.** Nach den oben mitgetheilten Conſtanten verſchiedener Ketten kann man für jeden gegebenen Fall die Stromſtärke berechnen. Wenn der Widerſtand des Schließungsbogens l iſt, ſo iſt für eine Zinkkohlenkette,

wenn ihre mittlere Oberfläche gleich 1 Quadratdecimeter iſt, bei Anwendung Stöhrer'ſcher Zellen und Schwefelſäure auf Waſſer, die Stromſtärke

$$S = \frac{824}{12 + l}.$$

Für ein gleichgroßes Daniell'ſches Element würde bei gleich ſtark verdünnter Schwefelſäure die Stromſtärke

$$\frac{470}{12 \cdot 1{,}8 + l} = \frac{470}{21{,}6 + l}$$

ſeyn. Iſt l ſehr klein gegen den weſentlichen Widerſtand der Elemente, ſo verhalten ſich die Stromſtärken wie $\frac{824}{12}$ zu $\frac{470}{21{,}6}$ oder wie 68,6 zu 21,8; die Stromſtärke iſt alſo über 3mal ſo groß für die Zinkkohlenkette. Bei ſehr guter Schließung wird alſo ein Zinkkohlenelement ſo viel leiſten als ein Daniell'ſches von 3mal ſo großer mittlerer Oberfläche.

Für einen ſehr großen Widerſtand ſtellt ſich das Verhältniß anders heraus, es verhalten ſich dann die Stromſtärken wie die elektromotoriſchen Kräfte, alſo wie 470 zu 824; in dieſem Falle würde man durch Vergrößerung der Oberfläche des Zinkkupferelementes nicht viel gewinnen, man müßte zwei Daniell'ſche Elemente hintereinander ſtellen, um dieſelbe Wirkung zu erhalten, wie mit einem Zinkkohlenelement.

Den Effect einer Zinkkohlenſäule kann man alſo in allen Fällen mit einer Daniell'ſchen auch erreichen, wenn die einzelnen Elemente die dreifache Oberfläche haben und man ihrer doppelt ſo viel anwendet, als man Zinkkohlenelemente nöthig hatte.

Was von der Zinkkohlenkette geſagt wurde, gilt auch von der Grove'ſchen, da die Conſtanten beider faſt gleich ſind.

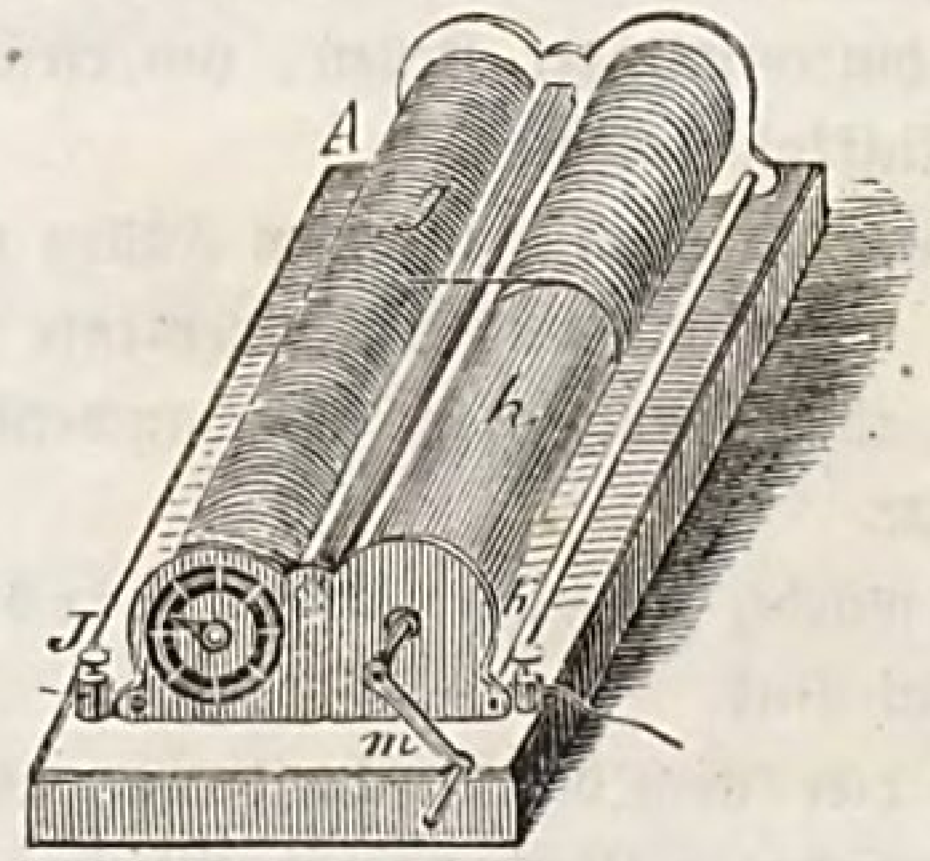
Als Schluß dieſes Abſchnitts folgt hier noch die Beſchreibung einiger Inſtrumente, welche bei den bisher beſprochenen Verſuchen in Meſſungen in Anwendung kommen.

Rheoſtate. Um den Leitungswiderſtand im Schließungsbogen eines 126
Rheomotors innerhalb der erforderlichen Gränzen allmälig verändern zu können, ohne die Kette öffnen zu müſſen, ſind mehrere Inſtrumente vorgeſchlagen worden, namentlich von Jakobi und Wheatſtone. Jakobi nennt ſein Inſtrument Agometer. Die Beſchreibung deſſelben iſt in Poggendorff's Annalen, Bd. LIV. 340, LIX. 145, zu finden. Ein Inſtrument dieſer Art iſt ohne Zweifel ſehr koſtſpielig, weshalb es wohl keine weite Verbreitung finden dürfte, um ſo mehr, da Wheatſtone's zu gleichem Zweck conſtruirte Inſtrumente, bei gleicher Zweckdienlichkeit, ungleich einfacher und bequemer zu handhaben ſind.

In meinem Lehrbuch der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 193) habe ich bereits einen Wheatſtone'ſchen Rheoſtaten mit dickem Drahte beſchrieben, welcher anzuwenden iſt, wenn der Widerſtand des Schließungsbogens überhaupt nicht ſehr bedeutend iſt. Wenn der Geſammtwiderſtand in der Kette aber ſehr groß iſt, ſo würde man ſehr große Längen dieſes dicken Drahtes ab- oder aufwickeln müſſen, um eine merkliche Veränderung der Stromſtärke zu erzielen; in ſolchem Falle muß man alſo einen Rheoſtaten mit dünnem Draht anwenden, welcher der Natur der Sache nach eine andere Conſtruction haben muß.

Wheatſtone's Rheoſtat mit dünnem Draht (Poggend. Annalen, LXII., 499) iſt Fig. 104 dargeſtellt. Es iſt *g* ein Cylinder von trocknem Holz, ungefähr 6″ lang und 1½ Zoll im Durchmeſſer; *h* iſt ein Cylinder von Meſſing, welcher dieſelben Dimenſionen hat. Die Axen beider Cylinder ſind einander parallel. Auf dem Holzcylinder iſt ein Schraubengang eingeſchnitten, und an einem ſeiner Enden (dem vorderen unſerer Figur) trägt derſelbe einen Meſſingring, an welchem das Ende eines langen und ſehr dünnen Drahtes befeſtigt iſt. Dieſer wird auf den Holzcylinder ſo aufgewickelt, daß er die ſämmtlichen Schraubengänge ausfüllt, und dann mit ſeinem andern Ende auf dem jenſeitigen Ende des Meſſingcylinders befeſtigt. — Die zum Einſchrauben von Drähten beſtimmten Meſſingſäulchen *J* und *k*, ſitzen auf Metallfedern, von denen die eine gegen das vordere Ende des Meſſingcylinders *h*, die andere gegen den Meſſingring des Holzcylinders drückt (in der Fig. ſind die Federn nicht ſichtbar). Die abnehmbare Kurbel *m* dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man ſie auf den Cylinder *h* und dreht man nach der Rechten, ſo wird der Draht vom Holzcylinder ab und auf den Meſſingcylinder gewickelt; ſteckt man ſie dagegen auf den Cylinder *g* und dreht nach der Rechten, ſo geſchieht das Umgekehrte. Da die Windungen auf dem Holzcylinder iſolirt und durch die Schraubengänge von einander entfernt gehalten werden, ſo durchläuft der Strom auf dieſem Cylinder den Draht ſeiner ganzen Länge nach; allein auf dem Meſſingcylinder, wo die Windungen nicht iſolirt ſind, geht der Strom ſogleich von dem Punkte, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder bei *k*. Der als Widerſtand wirkſame Theil der Drahtlänge

Fig. 104.



iſt alſo das veränderliche Stück, welches ſich auf dem Holzcylinder befindet.

Von den Schraubengängen des Holzcylinders gehen 40 auf einen Zoll. Der Draht iſt von Meſſing, und hat 0,01 Zoll im Durchmeſſer.

Zur Zählung der abgewickelten Windungen iſt eine Skale zwiſchen den beiden Cylindern angebracht, und die Bruchtheile einer Windung beſtimmen ſich mittelſt eines Zeigers, der an der Axe des einen Cylinders befeſtigt iſt, und auf die Theilpunkte eines graduirten Kreiſes hinweiſt.

Die Art und Weiſe, wie dies Inſtrument anzuwenden iſt, bedarf wohl nach dem, was ich in meinem Lehrbuche der Phyſik über die Anwendung des andern Rheoſtaten geſagt habe, keiner Erläuterung mehr.

Differentialwiderſtandsmeſſer. Un den Widerſtand von Metall- 127
drähten zu beſtimmen, hat Wheatſtone ein ſehr einfaches Verfahren angegeben, welches bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 195) beſprochen worden iſt. Man ſchaltet nämlich in den Schließungsbogen eines conſtanten Elementes das Rheoſtat, das Galvanometer und den Draht ein, deſſen Widerſtand ermittelt werden ſoll, und regulirt den geſammten Widerſtand ſo, daß die Nadel auf irgend einen beliebigen Punkt a der Buſſolentheilung zu ſtehen kommt. Nimmt man nun den Draht aus der Schließung heraus, ſo wird nur die Nadel eine größere Ablenkung zeigen, und um ſie wieder auf den Punkt a zurückzubringen, muß man noch eine beſtimmte Anzahl von Umgängen des Rheoſtaten dem vorhandenen Widerſtande hinzufügen. Man erfährt auf dieſe Weiſe, wie groß der Widerſtand des fraglichen Drahtes iſt, ausgedrückt in Windungen des Rheoſtaten.

Nach dieſer Methode erhält man ziemlich gleich genaue Reſultate, mag man nun einen Multiplicator, oder die ungleich weniger emdfindliche Tangentenbuſſole, oder irgend ein anderes Galvanometer anwenden. Der Grund davon iſt folgender: Um an einer Tangentenbuſſole eine Ablenkung etwa von 45^0 hervorzubringen, darf der Geſammtwiderſtand des Schließungsbogens nicht ſehr groß ſeyn. Nehmen wir an, R ſey der Geſammtwiderſtand der ganzen Kette für dieſen Fall, und eine Vermehrung oder Verminderung dieſes Widerſtandes r bringe eine ſolche Veränderung in der Stromſtärke hervor, daß die Ablenkung der Nadel um 1^0 verändert wird.

Wendet man nun einen Multiplicator an, der etwa 150mal empfindlicher iſt als die Tangentenbuſſole, ſo wird der Geſammtwiderſtand der Kette nahezu 150 R ſeyn müſſen, wenn die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auch um 45^0 abgelenkt werden ſoll. Um eine gleiche Veränderung in der Stromſtärke hervorzubringen, wie die oben erwähnte

war, muß man jetzt den Widerſtand um 150 r vermehren oder vermindern müſſen. Weil aber der Multiplicator 150mal empfindlicher iſt als die Tangentenbuſſole, ſo wird ſchon der 150ſte Theil dieſer Widerſtandsveränderung, alſo ebenfalls r genügen, um den Stand der Nadel um 1° zu vergrößern oder zu verkleineren; dieſelbe Widerſtandsänderung r bringt alſo an beiden Inſtrumenten nahe zu gleiche Ablenkungsänderungen hervor.

Soll der Multiplicator ganz geringe Veränderungen im Schließungsbogen angeben, ſo muß dafür geſorgt werden, daß die entſprechende Stromdifferenz im Multiplicator zur Wirkung kommt, ohne daß ſchon ein ſehr bedeutender Widerſtand im Schließungsbogen eingeſchaltet iſt. Wheatſtone hat dies mit Hülfe der Fig. 105 dargeſtellten Vorrichtung, welche er Differential-Widerſtandsmeſſer nennt, erreicht. Auf einem Brette, etwa 14 Zoll lang und 4 Zoll breit, ſind, ein Parallelogramm bildend, die Meſſingſäulchen a, b, c und d befeſtigt, ferner zwiſchen a und d noch die Säulchen e und f, zwiſchen d und b die Säulchen g und h. Dieſe Säulchen, welche mit Klemmſchrauben verſehen ſind, damit man Drähte in ſie einſchrauben kann (alſo Säulchen wie die, welche ſich an dem Inſtrumente befinden, das Seite 211 des 2ten Bandes meines Lehr-

Fig. 105.

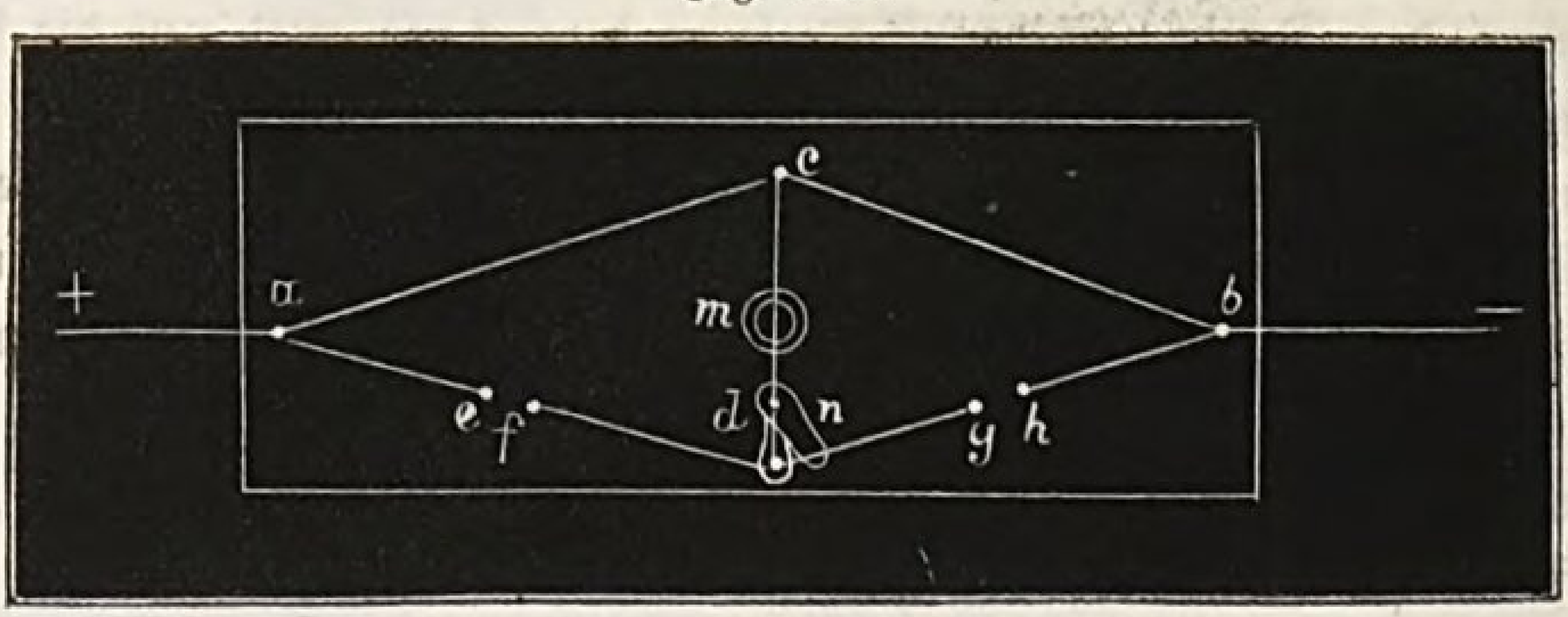
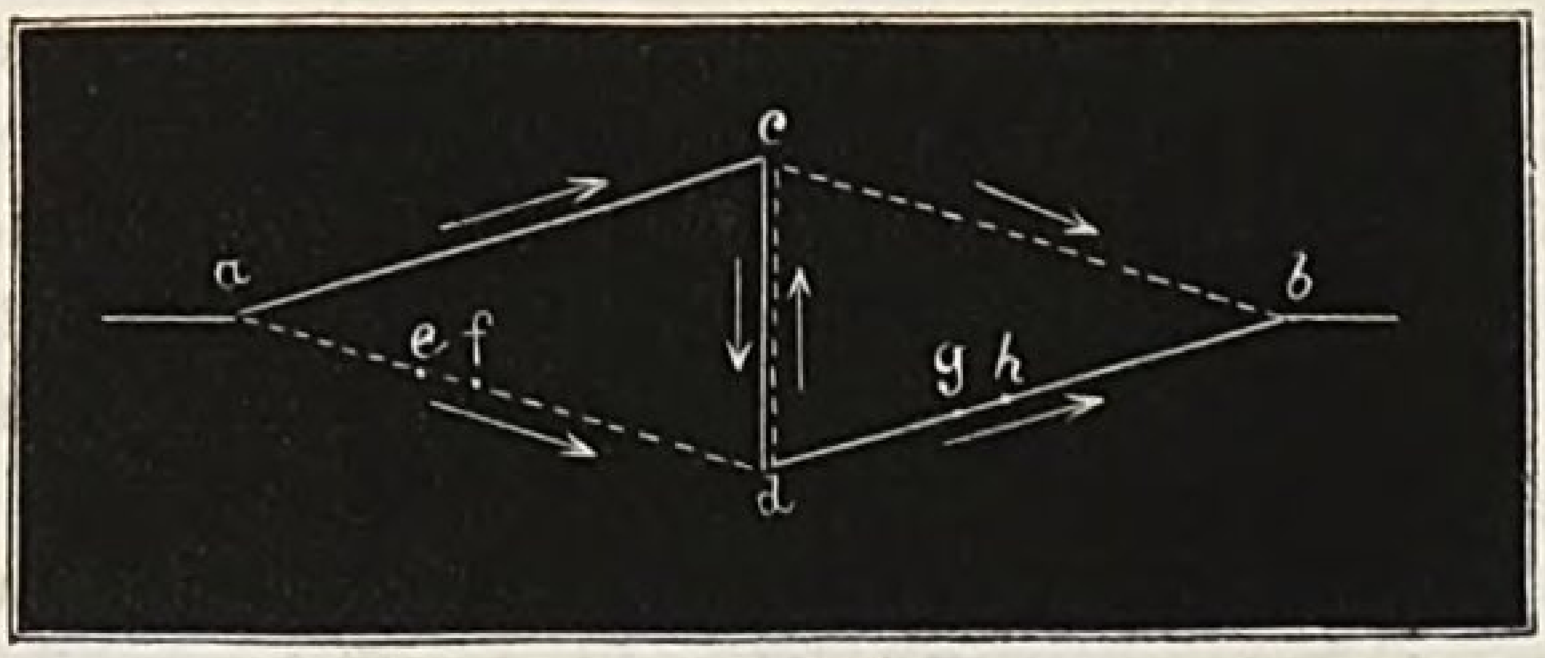


Fig. 106.



buchs abgebildet iſt), ſind durch Drähte verbunden, wie man in der Figur ſieht. — In a wird nun der eine, in b der andere Poldraht des Elektromotors eingeſchraubt; ferner ſind die Enden des Multiplicatordrahtes in

c und *d* eingeſchraubt, ſo daß die Säulchen *c* und *d* durch den Multiplicator *m* in leitender Verbindung ſtehn; zwiſchen *e* und *f* iſt ein Drahtſtück und ein anderes zwiſchen *g* und *h* eingeſchaltet. Die Ströme verzweigen ſich hier in mannigfacher Art, wir aber haben nur die zu betrachten, welche durch den Multiplicator gehen.

Ein Strom geht von *a* nach *c*, von *c* durch *m* nach *d*, von *d* über *g* und *h* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die ausgezogene Linie angedeutet iſt; ein anderer Strom, welcher den Multiplicator in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, geht von *a* über *e* und *f* nach *d*, von *d* durch *m* nach *c* und endlich von *c* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die punktirte Linie angedeutet iſt. Sind die Widerſtände in den beiden Drahtleitungen *acdb* und *adcb* vollkommen gleich, ſo ſind es auch die beiden durch den Multiplicator gehenden Ströme, die Nadel wird alſo auf dem Nullpunkte ſtehen bleiben.

Macht man nun den zwiſchen *e* und *f* eingeſchalteten Draht nur ein wenig länger oder kürzer, ſo werden die beiden, in entgegengeſetzter Richtung durch den Multiplicator gehenden Stöme nicht mehr gleich ſeyn, die Differenz der Stromſtärke wird die Ablenkung der Nadel bewirken. Da nun aber die Summe aller Leitungswiderſtände hier überhaupt nicht groß iſt, ſo wird auch eine ganz geringe Veränderung des zwiſchen *e* und *f* eingeſchalteten Widerſtandes eine merkliche Veränderung der Stromſtärke, alſo eine merkliche Ablenkung der Nadel bewirken.

Um nun mittelſt dieſer Vorrichtung den Widerſtand eines Drahtes in Windungen des Rheoſtaten ausgedrückt zu erhalten, kann man folgenderweiſe verfahren. Man ſchalte zwiſchen *e* und *f* den Rheoſtaten mit einigen Windungen und zwiſchen *g* und *h* einen Draht ein, deſſen Widerſtand nahezu dem des auf der andern Seite eingeſchalteten Theils des Rheoſtaten gleich iſt, und regulire Alles ſo, daß die Nadel auf 0 zu ſtehen kommt *). Schaltet man nun zwiſchen *g* und *h* außer dem ſchon vorhandenen noch den Draht ein, deſſen Widerſtand man ermitteln will, ſo muß man auf der andern Seite noch eine Reihe von *n* Rheoſtatenwindungen einſchalten, um die Nadel wieder auf 0 zu bringen. Dieſe

---

*) Um eine ſolche Regulirung zu erleichtern, hat Wheatſtone noch eine beſondere Vorrichtung an ſeinem Inſtrumente angebracht. Das Säulchen *d* ſitzt auf einem Meſſingſtücke feſt. An dem anderen Ende dieſes Meſſingſtreifens dreht ſich um einen Stift das Meſſingſtück *n*, deſſen freies Ende auf den Draht liegt. Wenn *n* an *d* anliegt, ſo hat es keinen weitern Einfluß, je weiter es aber von *d* gegen *g* hin gerückt wird, deſto mehr wird der Widerſtand auf dem Wege *dg* vermindert. Wenn es nöthig iſt, ſo kann man das drehbare Meſſingſtück *m* auch auf die andere Seite von *d* bringen.

Zahl n der noch einzuſchaltenden Umgänge des Rheoſtatendrahtes iſt nun das Maaß für den Widerſtand des fraglichen Drahtes.

Außer dieſer Vorrichtung hat Wheatſtone noch einige andere zu gleichem Zwecke conſtruirt; hier mag die Beſchreibung der einfachſten genügen.

Dritter Abſchnitt.

Leitungswiderſtand der Metalle und Flüſſigkeiten, galvaniſche Polariſation und Paſſivität.

Um nach der Ohm'ſchen Formel die Stromſtärke in gegebenen Fällen berechnen zu können, reicht es nicht hin, die Conſtanten des Elektromotors zu kennen, man muß auch den Leitungswiderſtand der feſten Leiter kennen, welche in den Schließungsbogen eingeſchaltet ſind, und falls der Strom auch eine Zerſetzungszelle zu durchlaufen hat, außer dem Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten auch die an den Elektroden auftretende elektromotoriſche Gegenkraft, die ſogenannte galvaniſche Polariſation. Die Leitung des Stromes hängt aber bekanntlich außer den Dimenſionen der Körper auch von ihrem ſpecifiſchen Leitungsvermögen ab, welches wir zunächſt betrachten wollen. 128

Leitungswiderſtand der Metalle. Nach der Wheatſtone'ſchen Methode hat Buff den Leitungswiderſtand einiger Metalle beſtimmt wie folgt (Jahresbericht von Liebig und Kopp für 1847 und 1848 Seite 286.): 129

Silber	0,954
Kupfer, chemiſch rein .	1
Kupfer des Handels	
erſte Sorte . . .	1,170
zweite Sorte . .	1,507
Neuſilber	11,833.

Buff hat bei ſeinen Angaben den Leitungswiderſtand des Silbers zur Einheit genommen; weil wir aber alle Widerſtände mit Kupferdraht vergleichen, ſo habe ich Buff's Angabe auf dieſes Metall reducirt.

Um den abſoluten Werth des Leitungswiderſtandes eines Drahtes von dieſen Verhältnißzahlen zu unterſcheiden, ſchlage ich vor, dieſe den ſpeci-

fiſchen Leitungswiderſtand zu nennen. Der ſpecifiſche Leitungswiederſtand eines Metalls iſt die Zahl, welche angiebt, um wie viel mal ſein Leitungswiderſtand größer iſt, als der eines Kupferdrahts von gleichen Dimenſionen. Bezeichnen wir mit s den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand eines Metalles, ſo iſt der abſolute Leitungswiderſtand w eines Drahtes von der Länge l und dem Radius r

$$w = s \frac{l \,.\, 0{,}785}{\pi r^2}.$$

Der ſpecifiſche Leitungswiderſtand iſt daſſelbe, was Rieß die elektriſche Verzögerungskraft nennt; der reciproke Werth des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes wurde bisher mit dem Namen der Leitungsfähigkeit bezeichnet. Es ſcheint aber in der That zweckmäßig, ſtatt der Zahlenwerthe für die Leitungsfähigkeit die des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes in Anwendung zu bringen.

Die von Buff beſtimmten Zahlenwerthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand von Silber, Kupfer und Neuſilber, welche oben mitgetheilt wurden, dürften wohl vorzugsweiſe großes Zutrauen verdienen, weil ſie mit großer Sorgfalt und, worauf ich noch ganz beſondern Werth lege, nach einer einfachen und directen Methode ermittelt wurden, welche deſſen ungeachtet der größten Genauigkeit fähig iſt. Das Silber war eigens zu dieſem Zwecke im chemiſchen Laboratorium zu Gießen dargeſtellt worden. Das reine Kupfer war mit großer Sorgfalt auf galvaniſchem Wege bereitet, aber dennoch nicht ganz frei von Eiſen, indem es einer chemiſchen Analyſe zufolge nach 0,02 Procent dieſes Metalls enthielt. Die erſte Sorte des Handelskupfers enthielt 0,22 Procent Eiſen, die zweite Sorte neben einer Spur von Eiſen 0,2 Procent Blei und 0,26 Procent Nickel.

In der folgenden Tabelle ſind neben den Leitungswiderſtänden verſchiedener Metalle, wie ſie E. Becquerel (Ann. de chimie et de physique 3. serie XVII 242.; P. A. LXX. 243) beſtimmte, die von Rieß gefundenen geſtellt (Seite 130), und zwar den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand des Kupfers zur Einheit genommen.

	Rieß.	Becquerel.		Frick u. Müller.
		hart	geglüht	
Silber . . .	0,67	0,95	0,89	—
Kupfer . . .	1,00	1	0,97	1
Gold . . .	1,13	1,38	1,36	—
Kadmium . .	2,61	3,62	—	—
Meſſing . .	3,61	—	—	4
Zink	—	3,69	—	—
Palladium . .	5,49	6,63	—	—

	Rieß.	Becquerel. hart	Becquerel. geglüht	Frick u. Müller.
Eiſen . . .	5,66	7,44	7,30	6,4
Platin . . .	6,44	11,08	10,99	—
Zinn . . .	6,80	6,52	—	—
Nickel . . .	7,69	—	—	—
Blei	9,70	10,86	—	—
Neuſilber . .	11,29	—	—	13,3
Queckſilber . .	—	49,49	—	—

Die Methode, nach welcher Becquerel dieſe Zahlen erhalten hat, iſt im Weſentl'chen folgende. Sein Galvanometer, welches er Differenzialgalvanometer nennt, iſt durch zwei ganz gleiche neben einander herlaufende geſonderte Drähte gebildet, jeder iſt 3 Meter lang. Die Enden der beiden Multiplicatorwindungen werden nun ſo mit dem Elektromotor verknüpft, daß der Strom in beiden Gewinden eine entgegengeſetzte Richtung hat, daß alſo nur die Differenz der beiden Stromſtärken zur Wirkung kommt. In dem einen Schließungsbogen iſt nun ein Rheoſtat eingeſchaltet, vermittelſt deſſen man den Widerſtand der beiden Schließungsbogen vollkommen gleich machen kann, ſo daß die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt ſtehen bleibt. Schaltet man nun in den andern Schließungsbogen den zu beſtimmenden Draht ein, ſo muß man, um die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt zu erhalten, mittelſt des Rheoſtats eine dem Widerſtande nach äquivalente Anzahl von Rheoſtatenwindungen dem ſchon vorhandenen Widerſtand hinzufügen. Man erhält auf dieſe Weiſe den Widerſtand des Drahtes zunächſt in Rheoſtatenwindungen ausgedrückt.

Man überſieht leicht, daß dieſe Methode im Weſentlichen auf die Anwendung des Wheatſtone'ſchen Differenzialwiderſtandsmeſſers herauskommt, welche jedoch den großen Vortheil hat, daß man dazu jedes gewöhnliche Galvananometer brauchen kann, während die Becquerel'ſche Methode ein eigens conſtruirtes Galvanometer erfordert.

Das Silber, welches Becquerel zu ſeinen Verſuchen anwandte, war aus Chlorſilber reducirt, das Kupfer war elektrochemiſch gefällt und geſchmolzen.

Die Zahlen der letzten Columne ſind aus Verſuchen berechnet, welche Frick und ich gemeinſchaftlich nach der Wheatſtone'ſchen Methode anſtellten. Das Kupfer war galvaniſch niedergeſchlagen.

Die meiſten Verſuche gaben für das Silber einen dem Kupfer ſehr nahen Leitungswiderſtand, während Rieß ſowohl als ſchon früher Lenz ihn bedeutend geringer fanden; von einer Verunreinigung des Silbers kann dieſer auffallende Unterſchied nicht herrühren, denn eine ſolche würde den Leitungswiderſtand vergrößern und nicht verkleinern.

Nach den Meſſungen von Lenz (P. A. XLIV. 345.) iſt der Leitungswiderſtand des

Antimons . . 11,23
Queckſilbers . . 21,45
Wismuths . . 38,47

130 **Abhängigkeit des Leitungswiderſtandes der Metalle von der Temperatur.** Den Einfluß der Temperaturveränderung auf die Leitungsfähigkeit der Metalle hat Lenz unterſucht. Er berichtet darüber in Poggendorff's Annalen Band XXXIV. Seite 418 und Band XLV. Seite 105. Dem letzteren Aufſatz entnehmen wir die folgende Zuſammenſtellung ſeiner Reſultate.

	Leitungsfähigkeit für Elektricität bei		
	0	100°	200°
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Zinn	30,84	20,44	14,78
Meſſing	29,33	24,78	21,45
Eiſen	17,74	10,87	7,00
Blei	14,62	9,61	6,76
Platin	14,16	10,93	9,00.

Aus dieſer Tabelle erſieht man ſehr anſchaulich, wie ſtark der Einfluß der Wärme auf die Leitungsfähigkeit der Metalle, und ferner, wie ungleich dieſer Einfluß bei den verſchiedenen Metallen iſt. So haben z. B. bei 100° die letzten fünf Metalle ihre gegenſeitige Stelle in der Ordnung der Leitungsfähigkeiten ſchon ganz geändert; das Blei iſt das am ſchlechteſten leitende Metall geworden; das Platin iſt ſogar über das Eiſen hinaufgerückt; das Meſſing leitet beſſer wie Zinn, welches bei 0° in dieſer Hinſicht über ihm ſteht. Bei 200° iſt die Reihenfolge zwar noch dieſelbe geblieben wie bei 100°, indeſſen ſind ſich hier Kupfer und Gold faſt ganz gleich geworden, ſo daß das Gold in noch höherer Temperatur beſſer leitend werden muß als Kupfer.

In Betreff der Art und Weiſe, wie Lenz zu obigen Zahlenwerthen gekommen iſt, ſind noch einige Bemerkungen zu machen. Der Strom, deſſen er ſich bediente, war ein magnetoelektriſcher, in deſſen Schließungsbogen ein Multiplicator abwechſelnd mit und ohne den zu beſtimmenden Draht eingeſchaltet war. Dieſer Draht war ſpiralförmig aufgewunden, jedoch ſo, daß ſich die einzelnen Windungen nicht berührten, und in ein Oelbad gelegt, welches durch eine Weingeiſtlampe auf conſtanter Temperatur erhalten wurde. Die Leitungsfähigkeit des Drahtes wurde nun für eine

Reihe (meiſt 10 bis 15) verſchiedener Temperaturen des Oelbades ermittelt und dann mittelſt der verſchiedenen zuſammengehörigen Werthe der Leitungsfähigkeit g und der Temperatur t die wahrſcheinlichſten Werthe der conſtanten Factoren der Gleichung

$$g = a + bt + ct^2$$

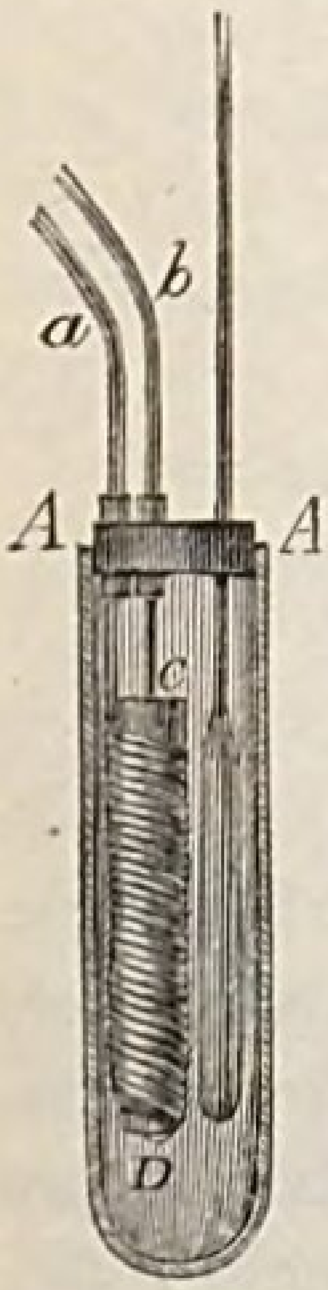
beſtimmt. Es ergaben ſich auf dieſe Weiſe zur Berechnung der Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle folgende Gleichungen:

für Silber $g = 136,25 - 0,4984t + 0,000804t^2$
» Kupfer $g = 100,00 - 0,3137t + 0,000437t^2$
» Gold $g = 79,79 - 0,1703t + 0,000244t^2$
» Zinn $g = 30,84 - 0,1277t + 0,000273t^2$
» Meſſing $g = 29,33 - 0,0517t + 0,000061t^2$
» Eiſen $g = 17,74 - 0,0837t + 0,000150t^2$
» Blei $g = 14,62 - 0,0608t + 0,000107t^2$
» Platin $g = 14,16 - 0,0389t + 0,000066t^2$.

Dieſe Formeln, nach welchen die obige Tabelle berechnet wurde, ſchließen ſich den Beobachtungen ſehr gut an.

Auch E. Becquerel hat das Verhältniß der Leitungsfähigkeit der Metalle zur Temperatur unterſucht, und in dem ſchon oben Seite 306 citirten Aufſatz publicirt.

Fig. 107.



Die Art und Weiſe, wie Becquerel ſeine Drähte einer höhern Temperatur ausſetzte, iſt folgende: der Metalldraht, der zum Verſuch dienen ſoll, wird auf einer Glasröhre CD, Fig. 107, von 1 Centimeter Durchmeſſer und 5 bis 6 Centimeter Länge, ſo aufgewunden, daß ſich die einzelnen Windungen nicht berühren. Wenn der Draht mehr als eine Lage bildet, ſo wird dieſe mit Seide bedeckt und dann erſt die Windungen der zweiten Lage aufgewickelt. Damit ſich die Drahtwindungen nicht aufrollen können, werden ſie mit Seide befeſtigt. Die beiden Enden des aufgewundenen Drahtes werden nun an die untern Enden der dicken Kupferdrahtſtücke a und b befeſtigt, deren Widerſtand man vernachläſſigen kann. Eines der Stäbchen, nämlich a, iſt an dem obern Ende der Glasröhre CD befeſtigt, das andere E geht im Innern dieſer Röhre herab. Die ſo bewickelte Glasröhre wird nun in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen geſteckt. Die beiden Stäbchen a und b gehen durch zwei kleine Röhrchen hindurch, welche in dem Kork AA' ſtecken, durch welchen die Röhre CD in der Mitte des Oels gehalten wird. Ein Thermometer mit langem Gefäß dient zur Meſſung der Temperatur des Oels.

Das Oel wurde durch Eintauchen des Proberöhrchens in ein Waſſerbad

erwärmt, Becquerel's Meſſungen gingen alſo nicht über den Siedpunkt des Waſſers hinaus.

Becquerel zieht aus ſeinen Beobachtungen den Schluß, daß die Abnahme des Leitungsvermögens der Zunahme der Temperatur proportional ſei!

Demnach muß der Leitungswiderſtand eines Metalls für jeden Temperaturgrad um gleichviel wachſen; die folgende Tabelle giebt an, um den wie vielten Theil ſeines Leitungswiderſtandes bei 0°, der Leitungswiderſtand eines Metalles für jeden Temperaturgrad wächst.

Silber .	0,0040	Platin .	0,0019
Blei . .	0,0043	Zink . .	0,0037
Gold .	0,0034	Kadmium	0,0040
Eiſen .	0,0047	Zinn . .	0,0062
Kupfer .	0,0041	Queckſilber	0,0010.

Danach berechnet Becquerel eine Tabelle für die Leitungsfähigkeit dieſer Metalle bei 0 und 100°, in welcher aber die Leitungsfähigkeit des Silbers bei 0° gleich 100 geſetzt wird; um die Vergleichung mit den Lenz'ſchen Reſultaten zu erleichtern, habe ich jedoch dieſe Tabelle für Kupfer = 100 umgerechnet.

	bei 0°	bei 100°	Diff.
Silber	109,3	77,9	31,4
Kupfer	100,0	70,9	29,1
Gold	71,0	52,6	18,4
Kadmium	26,8	19,1	7,7
Zink	26,2	19,2	7,0
Zinn	15,3	9,4	5,9
Eiſen	13,5	9,2	4,3
Blei	9,0	6,3	2,7
Platin	8,6	7,3	1,3
Queckſilber	1,9	1,7	0,2.

Wie man ſieht, iſt nirgends einige Uebereinſtimmung mit den Reſultaten von Lenz, ſowohl was die Leitungsfähigkeit der Metalle bei 0° betrifft, als auch in Anſehung der Abnahme derſelben bei wachſender Temperatur. Wäre das von Becquerel aufgeſtellte Geſetz richtig, ſo müßten in den Gleichungen auf Seite 309 die Factoren von t^2 gleich Null, die Factoren t aber ſollten, mit 100 multiplicirt, den Differenzen der letzten Tabelle gleich ſein.

Zuletzt hat ſich Müller in Halle mit dieſem Gegenſtand beſchäftigt (P. A. LXXIII. 434.) in der Abſicht, nachzuweiſen, daß wohl eine Abhängigkeit beſtehe zwiſchen der Zunahme des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes und der Zunahme der ſpecifiſchen Wärme. Er legt hierbei, was den

Leitungswiderſtand betrifft, die Meſſungen von Lenz zu Grunde; zur Beſtätigung dieſer Zahlen ſtellte er ſelbſt eine Verſuchsreihe mit Eiſendraht an, deren Reſultate gut zu den Lenz'ſchen paſſen. Die Zunahme, welche der Leitungswiderſtand von Zink und Queckſilber bei wachſender Temperatur erleidet und welche Lenz nicht beſtimmt hatte, fand Müller ziemlich nahe der Temperaturzunahme proportional.

Die ſpecifiſche Wärme bei verſchiedenen Temperaturen betreffend, ſo legt Müller die Beſtimmungen von Dulong und Petit zu Grunde mit der Annahme, daß die Zunahme der ſpecifiſchen Wärme dem Wachsthum der Temperaturzunahme proportional ſei. — Ob das wahr iſt oder nicht, wollen wir dahingeſtellt ſein laſſen, wäre es aber der Fall, ſo wäre gerade das Gegentheil von dem bewieſen, was Müller darthun will, denn nach den Beſtimmungen von Lenz iſt die Zunahme des Leitungswiderſtandes der Temperaturzunahme nicht proportional; mit Becquerel's Meſſungen würde ſich die Müller'ſche Hypotheſe vielleicht eher vertragen.

Müller vergleicht nun den Wachsthum der ſpecifiſchen Wärme von Queckſilber, Platin, Kupfer, Zink, Silber und Eiſen mit der entſprechenden Zunahme des Leitungswiderſtandes; die Harmonie, welche ſich dabei herausſtellt, iſt nicht ſonderlich; dies entſcheidet aber, nach Müller's Meinung, nichts gegen ſeine Annahme der Abhängigkeit der Zunahme des Leitungswiderſtandes von der ſpecifiſchen Wärme, weil die Beſtimmungen der ſpecifiſchen Wärme für verſchiedene Temperaturen bei weitem noch nicht den nöthigen Grad von Genauigkeit haben. — Giebt man dieſen Mangel an Genauigkeit zu, wie man wohl nicht anders kann, ſo muß man auch zugeben, daß es bei unſerer gegenwärtigen Kenntniß der Thatſachen wenigſtens ein fruchtloſes Beſtreben iſt, eine ſolche Beziehung nachweiſen zu wollen.

Leitungswiderſtand des menſchlichen Körpers. Mit dieſem Ge- 131
genſtand haben ſich Lenz und Ptſchelnikoff beſchäftigt; als Elektromotor diente ihnen eine magnetoelektriſche Spirale. Nach ihren Beſtimmungen iſt der Widerſtand des menſchlichen Körpers, wenn man die ganze Hand in Waſſer taucht, dem $\frac{1}{100}$ Schwefelſäure zugeſetzt iſt, gleich dem von

91762

Metern Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer. Man kann dies jedenfalls nur als eine ſehr grobe Annäherung betrachten und deshalb dürfte wohl auch die Beſchreibung der Einzelnheiten der Verſuche hier unnöthig ſein.

Pouillet hat früher (P. A. XLII. 305) den Widerſtand des Körpers zu

49082

Metern Normaldraht beſtimmt. —

Wenn dieſe Zahlen auch ſehr ungenau ſein mögen, ſo zeigen ſie uns doch, daß der Leitungswiderſtand des Körpers ſehr groß iſt, und daß alſo die

Stromſtärke derjenigen Ströme, welche in dem Körper die phyſiologiſchen Effecte hervorbringen, jedenfalls ſehr gering iſt.

Denken wir uns den menſchlichen Körper in den Schließungsbogen einer Bunſen'ſchen Säule von 50 Bechern eingeſchaltet, ſo iſt die Stromſtärke

$$\frac{50 \cdot 800}{49000} = \frac{40}{49} = 0{,}8,$$

wenn wir in runder Zahl die elektromotoriſche Kraft eines Bunſen'ſchen Elementes = 800 ſetzen, und den Leitungswiderſtand der Säule (ungefähr 500) gegen den des eingeſchalteten Körpers vernachläſſigen, vorausgeſetzt, daß wir für den Leitungswiderſtand des Körpers die kleinere, Pouillet'ſche Zahl ſetzen; dieſe Stromſtärke entſpricht einer Ablenkung von ungefähr $^3/_4$ Graden an unſerer Tangentenbuſſole. Ein einziges Bunſen'ſches Element, durch den Körper geſchloſſen, gäbe alſo nur eine Stromſtärke $\frac{0{,}8}{50} = 0{,}016$.

Ob wohl die Stromſtärke des Inductionsſtroms, welcher, von einem einzigen Elemente herſtammend, im menſchlichen Körper ſo heftige Schläge hervorbringt, bedeutender iſt?

132 **Galvaniſche Polariſation.** Ein 2, 3, 4mal ſo langes Drahtſtück ſetzt dem galvaniſchen Strom auch einen 2, 3, 4mal ſo großen Leitungswiderſtand entgegen; iſt nun die elektromotoriſche Kraft der Kette und ihr Leitungswiderſtand bekannt, ſo kann man für jede beliebige Drahteinſchaltung nach dem Ohm'ſchen Geſetze die Stromſtärke berechnen. Bezeichnen wir mit E die elektromotoriſche Kraft der Kette, mit R den weſentlichen Widerſtand derſelben, ſo iſt, wenn r den Widerſtand des Schließungsdrahtes bezeichnet, die Stromſtärke

$$S \frac{E}{R + r},$$

und wenn man einen Draht von gleicher Dicke aber $n$facher Länge als Schließungsbogen anwendet, ſo iſt die Stromſtärke

$$S' = \frac{E}{R + nr}.$$

Bei Einſchaltung von Flüſſigkeiten iſt es nicht ſo. Bezeichnen wir mit E und R wieder dieſelben Dinge wie oben, mit w den Leitungswiderſtand der Flüſſigkeit in einem Voltameter, welches in dem Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, ſo wäre

$$S = \frac{E}{R + w}$$

die Stromſtärke, wenn das Ohm'ſche Geſetz hier ganz in der Weiſe in

Anwendung käme, wie bei Metalldrähten. Bringt man die Voltameterplatten $n$mal ſo weit von einander, ſo müßte jetzt die Stromſtärke

$$S' = \frac{E}{R + nw} \text{ ſeyn.}$$

Hat man die Stromſtärke für eine gewiſſe Entfernung der Voltameterplatten ermittelt, ſo findet man ſie aber für die doppelte, dreifache, vierfache Entfernung der Polplatten größer, als man nach unmittelbarer Anwendung der Ohm'ſchen Formel hätte erwarten ſollen.

Dies erſieht man unter andern aus einer Reihe von Verſuchen, welche Lenz anſtellte, und die im XLIV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 349 mitgetheilt wurden. — Ohne näher auf die Beſchreibung der Beobachtungsmethoden einzugehen, deren ſich Lenz bediente, mag hier die Aufführung einiger hierher gehöriger Reſultate genügen.

Bei metalliſcher Schließung ſeiner Kette (der Strom war ein magnetoelektriſcher) erhielt Lenz eine Stromſtärke = 0,648 (nach einer willkürlichen Einheit). — Als der Strom durch eine concentrirte Auflöſung von Kupfervitriol ging, in welcher zwei Kupferplatten als Elektroden eingetaucht waren, ergab ſich die Stromſtärke gleich

$$0{,}425,$$

als die Elektroden 12,6 Millimeter von einander abſtanden. — Bezeichnet man den geſammten Leitungswiderſtand, den der Strom im erſten Falle zu überwinden hatte, mit 1, ſo iſt

$$\frac{E}{1} = 0{,}648 \text{ alſo } E = 0{,}648,$$

und wenn man den Leitungswiderſtand der eingeſchalteten Flüſſigkeitsſchicht ganz in derſelben Weiſe berechnet, wie dies bei Drähten geſchieht,

$$\text{ſo erhält man } \frac{E}{1 + x} = 0{,}425,$$

$$\text{und daraus } x = 0{,}5.$$

Werden die Elektroden bei ſonſt ganz gleichen Umſtänden 8mal ſo weit von einander entfernt, ſo würde man, wenn ohne weiteres das Ohm'ſche Geſetz hier angewendet werden könnte wie bei Drähten, erwarten können, daß die 8mal ſo dicke Flüſſigkeitsſchicht jetzt 8mal ſo großen Leitungswiderſtand leiſtet, die Stromſtärke müßte jetzt ſein

$$\frac{E}{1 + 8x} = \frac{0{,}648}{1 + 8.0{,}5} = \frac{0{,}648}{5} = 0{,}129,$$

während der Verſuch in dieſem Falle die Stromſtärke 0,199 ergab.

Bei 12facher Entfernung der Polplatten hätte man nach unmittelbarer Anwendung des Ohm'ſchen Geſetzes die Stromſtärke 0,0648 erwarten ſollen, der Verſuch gab 0,120.

In etwas anderer Form ergiebt ſich ein gleiches Reſultat aus den Ver-

ſuchen Horsford's (P. A. LXX. 238). In den Schließungsbogen einer Bunſen'ſchen Säule wurde eine Tangentenbuſſole und ein Rheoſtat eingeſchaltet; mittelſt der letztern wurde die Ablenkung der Nadel auf 10^0 zurückgebracht; nun wurde außerdem noch eine 2,5 Cent. dicke Schicht von verdünnter Schwefelſäure, zwiſchen zwei Platinplatten befindlich, eingeſchaltet; man mußte jetzt den Rheoſtaten um 32 Windungen zurückdrehen, oder mit andern Worten, man mußte 32 Windungen aus dem Schließungsbogen wegnehmen, um die Ablenkung wieder auf 10^0 zu bringen. Als nun die beiden Platinplatten in die doppelte Entfernung gebracht wurden, mußte man nicht etwa abermals 32 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernen, um die Ablenkung auf 10^0 zu erhalten, ſondern nur 20,5 Windungen; für jede folgende Vermehrung der Dicke der flüſſigen Schicht um 2,5 Millimeter mußte dann immer wieder nur 20,5 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernt werden, um die gleiche Ablenkung zu erhalten.

So viel ergab ſich aus allen meſſenden Verſuchen der Art, daß die Schwächung der Stromſtärke, welche eintritt, wenn man eine Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen einer Kette einſchaltet, nicht allein von dem eigentlichen Leitungswiderſtand der Flüſſigkeit herrühren kann, ſondern daß noch eine weitere Urſache vermindernd auf die Stromſtärke wirkt, die aber nicht mit der Dicke der Schicht zunimmt, ſondern von derſelben unabhängig erſcheint.

Fechner ſchrieb dies einem ſogenannten »Uebergangswiderſtande« zu, welcher an der Berührungsfläche zwiſchen den Metallplatten und der Flüſſigkeit wirken ſollte, er ſtellte ſich alſo vor, daß der Strom außer dem Widerſtande der Flüſſigkeit ſelbſt noch einen beſondern Widerſtand an den Polpatten der Zerſetzungszelle zu überwinden habe, den wir mit u bezeichnen wollen. Wenn nun bei einer beſtimmten Dicke der flüſſigen Schicht die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{R + u + w} \quad \ldots . \; 1)$$

iſt, ſo wird für eine $n$mal dickere Schicht die Stromſtärke nach der Fechner'ſchen Anſicht

$$S' = \frac{E}{R + u + nw} \quad \ldots . \; 2)$$

ſeyn. Dieſe Fechner'ſche Hypotheſe vom Uebergangswiderſtand vertrat Anfangs auch Poggendorff. In dem ſchon oben citirten Aufſatze von Lenz hat dieſer gezeigt, daß ſich die Stärke des Stromes, welcher durch eine Flüſſigkeit hindurchgeht, nach der Formel 2) berechnen läßt, und glaubt dadurch die Exiſtenz des Uebergangswiderſtandes bewieſen zu haben.

Ohm, Vorſelmann de Heer und andere Phyſiker ſprachen ſich gegen dieſe Hypotheſe eines Uebergangswiderſtandes aus, und ſchrieben die erwähnten Anomalien einer galvaniſchen Polariſation der Voltameterplatten zu, welche der elektromotoriſchen Kraft der Kette entgegenwirkt. Bezeichnet E die elektromotoriſche Kraft der Kette, ſo wäre dieſer Anſicht zu Folge nach Einſchaltung eines Voltameters die Stromſtärke

$$S = \frac{E - e}{R + w} \quad .\;.\;.\;.\; 3)$$

wenn e die elektromotoriſche Gegenkraft im Voltameter bezeichnet, während alle übrigen Buchſtaben ihre frühere Bedeutung behalten.

Bei einer $n$fachen Entfernung der Voltameterplatten wäre dieſer Anſicht nach die Stromſtärke

$$S' = \frac{E - e}{R + nw} \quad .\;.\;.\;.\; 4).$$

Im LIX. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 229 beſpricht Lenz dieſen Gegenſtand abermals. Eine neue Reihe von Verſuchen über die Stromſtärke bei eingeſchalteten Voltametern vergleicht er ſowohl mit der Formel 1) als auch mit 3), und findet, daß beide den Beobachtungen genügen, daß man ſowohl durch die Hypotheſe eines Uebergangswiderſtandes, als auch durch die Hypotheſe einer elektromotoriſchen Gegenkraft an den Elektroden die durch das Voltameter bewirkten Veränderungen der Stromſtärke mit dem Ohm'ſchen Geſetz in Uebereinſtimmung bringen kann.

Dieſe Unterſuchung von Lenz läßt alſo die Frage unentſchieden, während er ſich dahin ausſpricht, daß er die galvaniſche Polariſation für wahrſcheinlicher halte als den Uebergangswiderſtand.

In der Form, wie Lenz ſeine Verſuche combinirt, konnte freilich keine Entſcheidung erwartet werden, die bei einer etwas andern Betrachtungsweiſe des Gegenſtandes nicht hätte fehlen können. Man braucht ganz einfach nur die elektromotoriſche Kraft einer Säule einmal bei metalliſcher Schließung und dann bei eingeſchaltetem Voltameter zu beſtimmen, um zu erfahren, ob im Voltameter eine elektromotoriſche Gegenkraft auftritt oder nicht.

Eine Verſuchsreihe, die ich zu dem Zwecke anſtellte, die Löſung der Frage recht anſchaulich zu machen, gab folgende Reſultate:

Sechs Zinkkohlenelemente wurden zur Säule verbunden. Die in den Schließungsbogen eingeſchaltete Tangentenbuſſole gab

für die Einſchaltung	0	46° Ablenkung
» » »	49 Meter Normaldraht	30° »

und daraus ergiebt ſich für die elektromotoriſche Kraft der Säule der Werth

$$E = 4366.$$

Ein ähnlicher Verſuch, bei welchem ein Meſſingdraht eingeſchaltet wurde, welche 29,2 Metern Normaldraht gleichzuſetzen iſt, gab

$$E = 4479,$$

alſo im Mittel

$$E = 4422.$$

Nun wurde ein Voltameter eingeſchaltet. Ohne weitere Einſchaltung war jetzt die Ablenkung

$$31{,}8^0.$$

Als noch ein Eiſendraht eingeſchaltet wurde, deſſen Widerſtand gleich dem von 49 Metern Normaldraht iſt,

$$20{,}6^0,$$

und daraus

$$E' = 3320.$$

Der Verſuch nach Vertauſchung dieſes Eiſendrahtes mit obigem Meſſingdraht (29,2 M. Normaldraht) gab

$$E = 3520,$$

alſo im Mittel

$$E' = 3420.$$

Dieſe Verſuche zeigen klar, daß durch Einſchaltung des Voltameters die elektromotoriſche Kraft vermindert, und zwar bedeutend vermindert wird, denn es iſt

$$e = E - E' = 1000.$$

Wenn alſo eine Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen eingeſchaltet wird, ſo wirken zweierlei Urſachen vermindernd auf die Stromſtärke; erſtens iſt die elektromotoriſche Kraft, welche der Strom in Bewegung ſetzt, vermindert, und zweitens iſt der Leitungswiderſtand vermehrt. Die Stromſtärke iſt in dieſem Falle alſo nach der Formel

$$S = \frac{E - e}{R + w}$$

zu berechnen.

Daniell war meines Wiſſens der Erſte, welcher die Exiſtenz der galvaniſchen Polariſation lediglich durch die Anwendung des Ohmiſchen Geſetzes nachgewieſen hat (P. A. LX. 387. Phil. Transact. f. 1842 pt. II.), und zwar auf eine ſehr ſinnreiche Art, ohne ein anderes Meßinſtrument in Anwendung zu bringen, als das Voltameter ſelbſt.

In den Schließungsbogen einer Säule von 5 Daniell'ſchen Elementen wurde ein Voltameter eingeſchaltet, wie Fig. 108 angedeutet iſt; es lieferte 6 Kubikzoll Knallgas in 5 Minuten. Wäre keine elektromo-

motoriſche Gegenkraft vorhanden, ſo müßte daſſelbe Voltameter in den

Fig. 108.

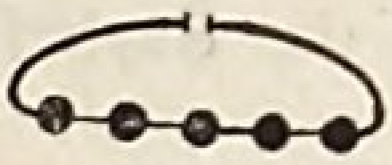
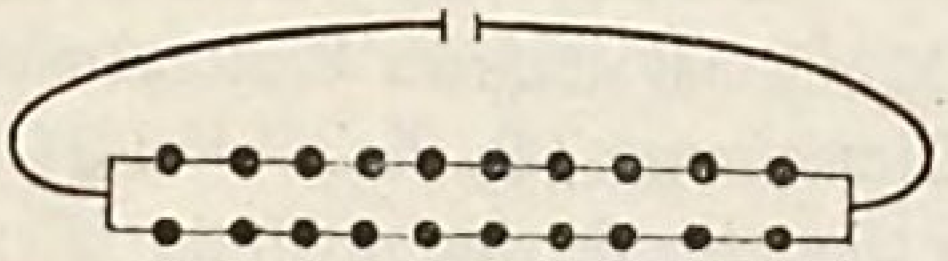


Fig. 109.



Schließungsbogen von 10 Doppelelementen gebracht, Fig. 109, die doppelte Gasmenge in derſelben Zeit liefern, denn im erſten Falle wäre die Stromſtärke

$$\frac{5E}{5R + r},$$

im zweiten

$$\frac{10E}{\frac{10}{2}R + r} = \frac{10E}{5R + r},$$

man müßte alſo im letztern Falle 12 Kubikzoll Gas in 5 Minuten erhalten; der Verſuch gab aber nicht 12, ſondern er lieferte 20 Kubikzoll Gas. Setzen wir aber die elektromotoriſche Gegenkraft gleich e, ſo haben wir im erſten Falle

$$\frac{5E - e}{5R + r} = 6,$$

im zweiten

$$\frac{10E - e}{5R + r} = 20,$$

alſo

$$\frac{10E - e}{5E - e} = \frac{20}{6},$$

und daraus

$$e = 2{,}857\ E.$$

Die Verſuche mit dem Voltameter genügen alſo nicht allein, um die Exiſtenz der elektromotoriſchen Gegenkraft darzuthun, ſondern auch um die Größe derſelben zu beſtimmen.

Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten. Um den eigentlichen Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten zu beſtimmen, muß man durchaus den Einfluß der galvaniſchen Polariſation in Rechnung bringen; die Unkenntniß und Vernachläſſigung derſelben verurſachte es, daß alle frühern Verſuche, den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten zu ermitteln, durchaus widerſprechende Reſultate lieferten.

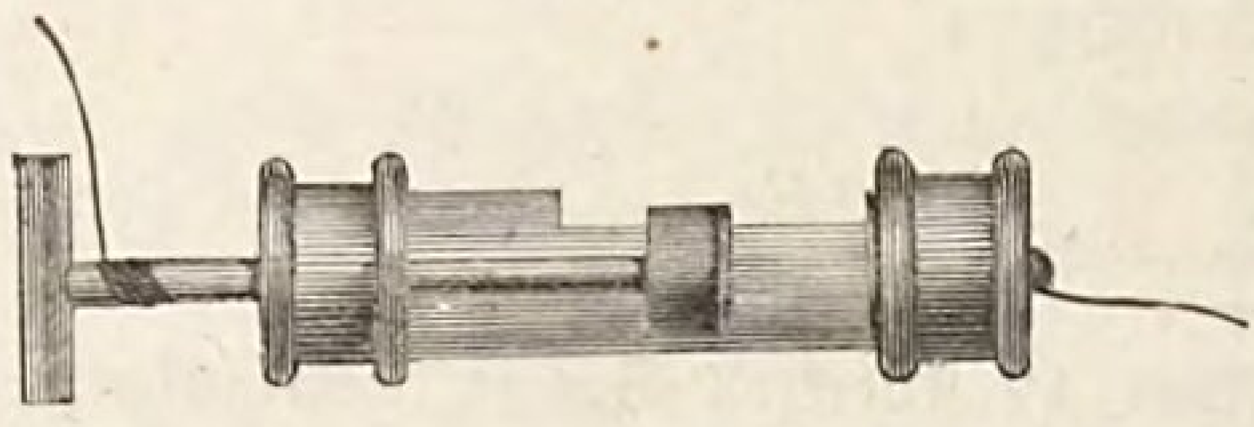
Lenz hat zuerſt den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand einer Löſung von Kupfervitriol rein von den Einflüſſen der Polariſation zu ermitteln geſucht, und dafür den Werth

6857500

gefunden, d. h. eine Löſung von Kupfervitriol, welche in Form einer flüſſigen Säule an beiden Enden von Metallplatten begränzt, in den Schließungsbogen der Säule eingeſchaltet wird, leiſtet dem galvaniſchen Strom einen 6857500mal größeren Leitungswiderſtand, als eine Kupferſäule von gleichen Dimenſionen (P. A XLIV. 349).

Wheatſtone gab eine treffliche Methode an, um den Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten unabhängig von der Polariſation zu ermitteln. Eine Glasröhre von 2 Zoll Länge und ungefähr ½ Zoll innerm Durchmeſſer iſt (Fig. 110) auf dem größeren Theil ihrer Länge oben offen, indem ¼ des Umfangs weggeſchliffen iſt, ſo daß noch ein Segment von 270° übrig bleibt; an einem Ende der Röhre iſt ein Metallſtöpſel befeſtigt, der mit einer Platinplatte endigt; von der anderen Seite her kann ein beweglicher Stempel, welcher ebenfalls mit einer Platinplatte endigt, bis auf ¼ Zoll der feſten Platinplatte genähert und bis auf ⁵⁄₄ Zoll von ihr entfernt werden.

Fig. 110.



Um den Widerſtand einer Flüſſigkeit zu meſſen, wird nun dieſe Meßröhre mit dem Galvanometer und dem Rheoſtaten in den Schließungsbogen einer conſtanten Säule von etwa 3 Bechern eingeſchaltet. Während die beiden Platinplatten der Röhre ¼ Zoll weit von einander abſtehen, wird der Zwiſchenraum mit der Flüſſigkeit gefüllt, deren Widerſtand gemeſſen werden ſoll, und dann mittelſt des Rheoſtaten die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auf einen beſtimmten Punkt gebracht. Nun wird der Stempel um 1 Zoll zurückgezogen, und das ganze wieder mit Flüſſigkeit gefüllt; natürlich iſt jetzt die Nadel des Galvanometers zurückgegangen; um ſie wieder auf ihren urſprünglichen Stand zu bringen, verringert man den Widerſtand der Kette mittelſt des Rheoſtaten und der Widerſtandsrollen*), bis die Nadel wieder auf ihrem früheren Punkte ſteht. Die reducirte Länge des ſonach aus der Kette gebrachten Drahtes iſt das Maaß für den Widerſtand von 1 Zoll der Flüſſigkeit; der Einfluß der Polariſation iſt durch die Art des Verſuchs ſelbſt ſchon eliminirt.

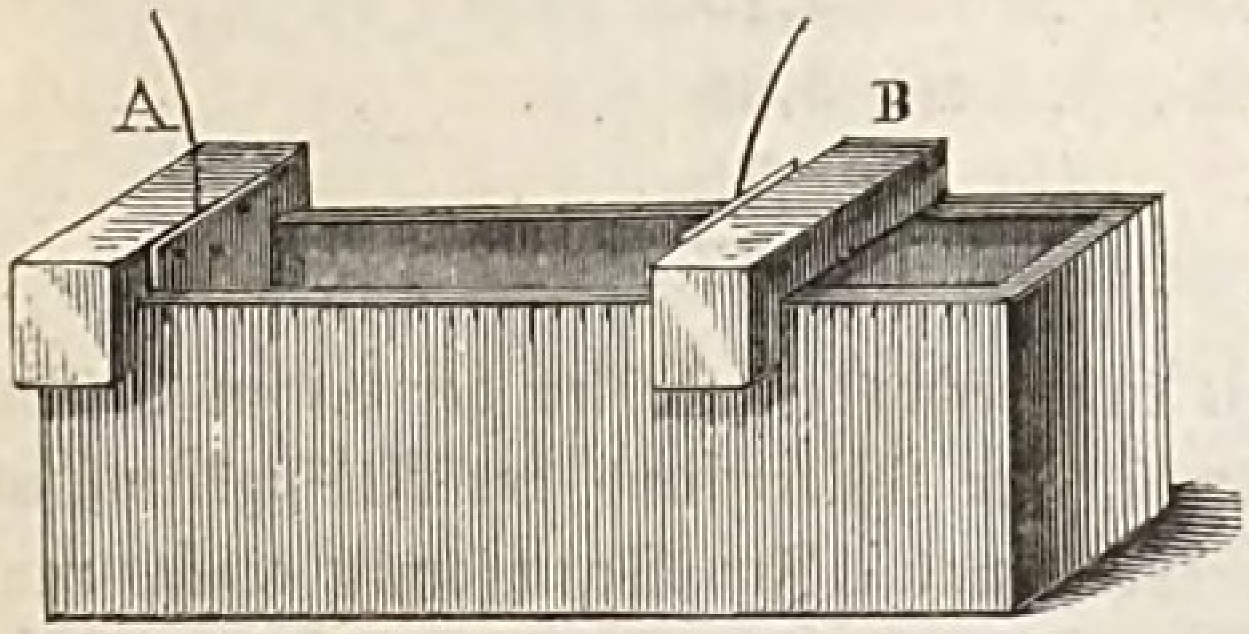
---

*) Wenn die nothwendigen Veränderungen des Leitungswiderſtandes über die Gränzen des Rheoſtaten hinausgehen, ſo hilft man ſich durch Einſchalten oder Wegnehmen von Drahtrollen (dünnen Draht in die feinen Schraubengänge eines trocknen Holzcylinders aufgewunden), deren Leitungswiderſtand bekannt iſt. Durch Hinzufügen oder Wegnehmen ſolcher Widerſtandsrollen werden dann die bedeutenderen, durch den Rheoſtaten die kleineren Veränderungen des Leitungswiderſtandes bewerkſtelligt.

Auf demſelben Princip beruhen auch die Vorrichtungen, welche Horsford und Becquerel anwandten, um den Widerſtand der Flüſſigkeiten zu meſſen.

Zur Aufnahme der Flüſſigkeit wandte Horsford (P. A. LXX. 238) einen viereckigen Trog von feſtem, dichtem Holze an (Fig. 111), welche 3 Decimeter lang und $7\frac{1}{2}$ Centimeter breit und tief war; im Innern war er mit Schelllackfirniß dick überzogen, um das Eindringen der Flüſſigkeit zu verhindern oder doch möglichſt zu verzögern. Auf dieſem Troge liegen zwei Holzſtücke, von denen das eine *A* feſtſitzt, während das andere *B* wie ein Schlitten hin und her geſchoben werden kann. Dieſe Querſtücke dienen, um die in die Flüſſigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Belieben ihren Abſtand zu ändern. Die Platten von gleicher Größe, wie der Querſchnitt des Kaſtens, werden an Kupferſtreifen feſtgeklemmt, welche ihrerſeits wieder an die Querſtücke angeſchraubt ſind.

Fig. 111.



Der mit der Flüſſigkeit gefüllte Trog wird nun mit dem Rheoſtaten und der Tangentenbuſſole in den Schließungsbogen einer Säule von mehr oder weniger Bechern gebracht, je nachdem die Umſtände eine größere oder geringere elektromotoriſche Kraft erfordern. Der Gang des Verſuchs iſt ähnlich wie ihn Wheatſtone angiebt.

Horsford's Anordnung hat mehrere Vortheile. 1) Kann man Meſſungen auf eine größere Anzahl verſchiedener Abſtände der beiden Platten ausdehnen; 2) kann man leicht Platten verſchiedener Metalle einſetzen, und 3) kann man Verſuche bei verſchiedener Anfüllungshöhe des Troges anſtellen.

Zunächſt hat Horsford gezeigt, daß Flüſſigkeitsſäulen in Beziehung auf Leitungswiderſtand ganz dieſelben Geſetze befolgen wie Metalldrähte, d. h. daß ſich der Widerſtand direct wie die Länge und umgekehrt wie der Querſchnitt der flüſſigen Schicht verhält.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt, die Platten in 2,5 Centimeter Entfernung gebracht, und der Geſammtwiderſtand ſo regulirt, daß die Nadel der Buſſole auf einem beſtimmten Punkte (etwa 20°) ſtand.

Die folgende Tabelle giebt nun an, und zwar in der zweiten Columne, wieviel Rheoſtatenwindungen (von Neuſilberdraht) man aus dem

Schließungsbogen herausnehmen mußte, um die Buſſolennadel auf derſelben Stelle zu erhalten, wenn der Abſtand der Platten (bei unveränderter Anfüllungshöhe des Troges, nämlich 2,75 Centimeter) um die in der erſten Columne ſtehenden Werthe vergrößert wurden.

Centimeter	
2,5	2,11
5,0	4,25
7,5	6,98
12,5	10,75
25,0	20,67.

Wie man ſieht, behalten die entſprechenden Zahlen der beiden Columnen ſehr nahe daſſelbe Verhältniß, der Widerſtand der Flüſſigkeitsſäule iſt alſo wirklich ihrer Länge proportional. Im Durchſchnitt erhält man aus dieſem Verſuch für den Widerſtand einer 5 Centimeter langen Flüſſigkeitsſchicht den Werth von 4,3 Rheoſtatenwindungen.

Als der Trog bis zu einer Höhe von 4,8 Centimetern angefüllt wurde, ergab ſich aus einer gleichen Verſuchsreihe für den Widerſtand einer 5 Centimeter langen Flüſſigkeitsſäule (natürlich dieſelbe verdünnte Säure) der Werth von 2,56 Rheoſtatenwindungen.

Da nun die Anfüllungshöhe 2,75 und 4,8 ſich nahezu umgekehrt verhalten wie die entſprechenden Widerſtände 4,3 und 2,56 (wir haben nämlich 2,75 : 4,8 = 2,56 : 4,46), ſo ſteht alſo der Leitungswiderſtand der flüſſigen Säule im umgekehrten Verhältniſſe ihres Querſchnitts.

Die folgende Tabelle enthält die von Horsford ermittelten Werthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand verſchiedener Flüſſigkeiten.

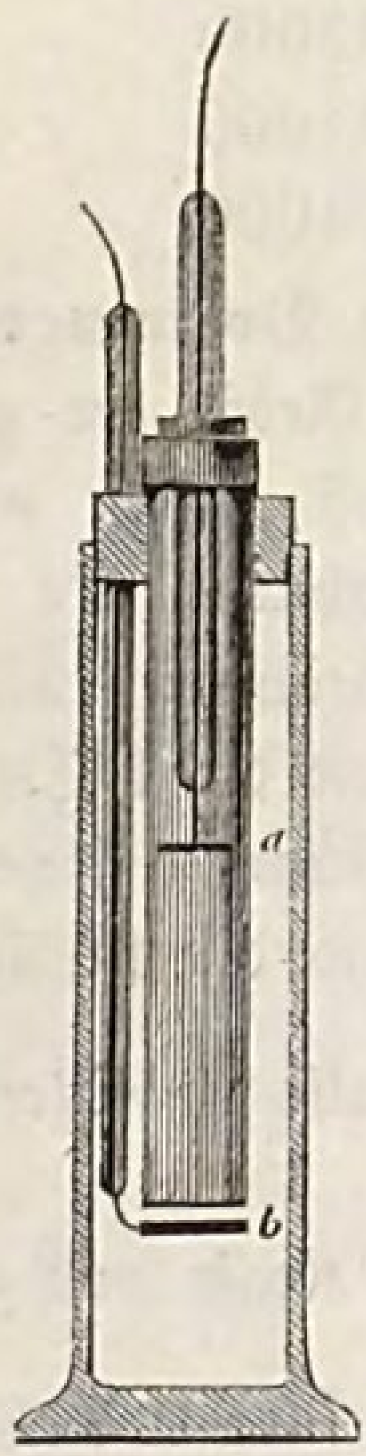
Namen und Beſchaffenheit der Flüſſigkeit.	Spec. Leitungswiderſtand der des Silbers = 1.
Schwefelſäure von 1,10 ſpec. Gew.	938500
» » 1,15 » »	840500
» » 1,20 » »	696700
» » 1,24 » »	696700
» » 1,30 » »	696700
» » 1,4 » »	1023400
Chlornatriumlöſ. 27,6 Grm. in 500 C.C. Waſſer	7157000
» 21,3 » » » » » .	9542000
» 10,65 » » » » » .	18460000
» 5,325 » » » » » .	34110000
Chlorkaliumlöſ. 27,7 » » » » » .	7168000
Kupfervitriollöſung, wovon 100 C.C. 15,093 Grm. Salz enthalten	12058000

Namen und Beſchaffenheit der Flüſſigkeit.	Spec. Leitungswiderſtand der des Silbers = 1.
Dieſelbe Salzmenge im doppelten Volum Waſſer	17490000
Zinkvitriollöſung, wovon 100 C.C. 7,2587 Grm. Salz enthalten	23515000.

Die genannten Flüſſigkeiten waren chemiſch rein.

Die Fig. 112 ſtellt den Apparat dar, welchen Becquerel zur Meſſung des Leitungswiderſtandes der Flüſſigkeiten anwandte (Annales de chimie et de physique. 3. serie. XVII. 242). Die Einrichtung derſelben bedarf wohl kaum einer weitern Erklärung. Die Metallplatte *a* läßt ſich in einer Glasröhre auf- und abſchieben, an deren unterm Ende ſich die Metallplatte *b* befindet, es iſt alſo die Flüſſigkeitsſäule zwiſchen *a* und *b*, welche der Strom zu durchlaufen hat. Damit keine Seitenſtrömung entſteht, ſind die Zuleitungsdrähte der Platten *a* und *b* in Glasröhren eingekittet.

Fig. 112.



Auch hier bringt Becquerel wieder das Differenzial-Galvanometer in Anwendung; in jedem der beiden Schließungsbogen ſchaltet er einen Apparat, wie der Fig. 112, ein. Dadurch, daß er in dem einen die Platte *a* hebt oder ſenkt, bringt er es dahin, daß die Multiplicatornadel auf 0 zu ſtehen kommt.

Wird nun in dem einen Schließungsbogen eine Drahtſpirale von bekanntem Leitungswiderſtand eingeſchaltet, ſo weicht die Nadel ab, und man muß die Flüſſigkeitsſäule deſſelben Schließungsbogens verkürzen, um die Nadel wieder auf 0 zurückzubringen. Auf dieſe Weiſe mittelt man die Höhe der Flüſſigkeitsſäule aus, welche gleichen Leitungswiderſtand ausübt, wie die eingeſchaltete Drahtſpirale. — Es verſteht ſich von ſelbſt, daß Vorrichtungen getroffen ſind, um die Hebung und Senkung der Platte *a* genau zu meſſen; doch können wir hier auf die Beſchreibung derſelben nicht eingehen.

Nach dieſer Methode fand Becquerel folgende Werthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand verſchiedener Flüſſigkeiten, den des Silbers gleich 1 geſetzt:

Geſättigte Löſung von Kupfervitriol	18450000
» » » Kochſalz	3173000
» » » ſalpeterſaurem Kupfer .	11120000
» » » ſchwefelſaurem Zink .	17330000
Verdünnte Schwefelſäure (220 C.C. Waſſer + 20 C.C. Schwefelſäure mit 1 Atom Waſſer)	1128000
Käufliche Salpeterſäure von 36° B.	1606000

In Betreff des Einfluſſes, welchen der Concentrationsgrad der Löſungen ausübt, fand Becquerel folgende Reſultate:

Schwefelſaures Kupferoxyd.	Widerſtand.
Geſättigte Löſung	18450000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	28820000
» » 4fachen Volumen . . .	48080000
Kochſalz.	
Geſättigte Löſung	3173000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	4333000
» » 3fachen Volumen . . .	5721000
» » 4fachen Volumen . . .	7864000.

132 **Berechnung der Stromſtärke bei eingeſchaltetem Voltameter.** Nachdem nun der Widerſtand der Flüſſigkeiten und die Größe der galvaniſchen Polariſation (wenigſtens annähernd) bekannt iſt, kann man leicht für eine gegebene Combination die Stromſtärke berechnen. Es ſey z. B. ein Voltameter, deſſen Platten 25 Quadrat-Centimeter (2500 Quadrat-Millimeter) Oberfläche (auf jeder Seite) haben und die 1 Centimeter (0,01 Meter) weit von einander abſtehen, mit verdünnter Schwefelſäure von 1,4 ſpec. Gew. gefüllt, ſo iſt der Widerſtand der flüſſigen Säule im Voltameter $1023400 \frac{0,01 \,.\, 0,785}{2500} = 32$, alſo die Stromſtärke $\frac{E - 1000}{R + 32}$, wenn wir mit E die elektromotoriſche Kraft und mit R den geſammten Widerſtand der Säule bezeichnen, und für die Polariſation den auf Seite 316 angegebenen Näherungswerth 1000 nehmen.

Wenn ein Voltameter in den Schließungsbogen einer Säule eingeſchaltet iſt, ſo gilt der Satz nicht mehr, daß man ein Maximum von Stromſtärke erhält, wenn die gegebene Anzahl von Bechern ſo angeordnet wird, daß der Widerſtand der Säule dem Widerſtand des Schließungsbogens gleich iſt, weil die Vorausſetzung, von welcher man bei der Beweisführung auf Seite 290 ausging, daß nämlich bei verſchiedenen Combinationen derſelben Anzahl von Bechern die Widerſtände ſich dem Quadrat der elektromotoriſchen Kraft proportional ändern, wegen der Polariſation im Voltameter nicht mehr ſtattfindet. Das Maximum des Effectes findet ſich nach der Seite derjenigen Combinationen verrückt, bei welchen mehr Becher hintereinander und weniger nebeneinander ſtehen.

Daß eine Verrückung des Maximums nach dieſer Seite ſtattfinden muß, läßt ſich leicht überſehen, wenn wir von einem ſpeciellen Beiſpiel ausgehen. In die verſchiedenen auf Seite 288 betrachteten Combinationen von 24 Bechern, und zwar von Daniell'ſchen Elementen von der

Art, wie ſie auf Seite 256 betrachtet wurden ($E = 470$, $R = 22$), werde ein Draht eingeſchaltet, deſſen Leitungswiderſtand gleich 32 iſt, ſo erhalten wir für die verſchiedenen Combinationen folgende Stromſtärken:

für 1) $\frac{24 \cdot 470}{24 \cdot 22 + 32} = \frac{11280}{560} = 20,$

2) $\frac{12 \cdot 470}{6 \cdot 22 + 32} = \frac{5640}{164} = 34,$

3) $\frac{8 \cdot 470}{2{,}7 \cdot 22 + 32} = \frac{3760}{91} = 41,$

4) $\frac{6 \cdot 470}{1{,}5 \cdot 22 + 32} = \frac{2820}{65} = 43,$

5) $\frac{4 \cdot 470}{0{,}7 \cdot 22 + 32} = \frac{1880}{47} = 40,$

6) $\frac{3 \cdot 470}{0{,}4 \cdot 22 + 32} = \frac{1410}{41} = 34.$

Wir haben hier das Maximum der Stromſtärke, 43, für den Fall, wo der Widerſtand der Säule $1{,}5 \cdot 22 = 33$ faſt ganz gleich iſt dem des Schließungsbogens. Wird nun aber ſtatt des Metalldrahtes, deſſen Widerſtand 32 iſt, das oben betrachtete Voltameter von gleichem Widerſtande eingeſchaltet, ſo wird die Stromſtärke geringer ausfallen müſſen, weil der Zähler obiger Brüche überall noch um 1000 zu verkleinern iſt, es ergeben ſich demnach jetzt für die verſchiedenen Combinationen folgende Stromſtärken:

1) $\frac{11280}{560} - \frac{1000}{560} = 20 - 2 = 18,$

2) $\frac{5640}{164} - \frac{1000}{164} = 34 - 6 = 28,$

3) $\frac{3760}{91} - \frac{1000}{91} = 41 - 11 = 30,$

4) $\frac{2820}{65} - \frac{1000}{65} = 43 - 15 = 28,$

5) $\frac{1880}{47} - \frac{1000}{47} = 40 - 21 = 19,$

6) $\frac{1410}{41} - \frac{1000}{41} = 34 - 24 = 10.$

Es iſt alſo in der That das Maximum des Effectes von der 4ten auf die 3te Combination gerückt.

Wir erſehen aus dieſer Zuſammenſtellung, daß unter den hier betrachteten Verhältniſſen die Schwächung der Stromſtärke durch die Polariſation für diejenigen Combinationen geringer wird, für welche der Geſammtwider-

ſtand größer iſt, und dadurch erklärt ſich denn auch die Verrückung des Maximums nach dieſer Seite.

Wir haben hier angenommen, daß die Größe der Polariſation ſtets dieſelbe bleibt, was freilich nicht ganz der Fall iſt, wie wir ſpäter ſehen werden, doch wird dadurch das weſentliche Reſultat dieſer Betrachtungen nicht geändert.

133 **Verminderung des Leitungswiderſtandes der Flüſſigkeiten durch die Wärme.** Während der Leitungswiderſtand der Metalle durch die Wärme vergrößert wird, wird er umgekehrt bei den Flüſſigkeiten bedeutend vermindert. Die erſten Meſſungen darüber hat Becquerel angeſtellt (Annales de Chimie et de Physique. 3. Serie. XVII. 285). Er wandte die oben Seite 321 beſchriebene Beobachtungsmethode an. Das eine der beiden Flüſſigkeitsbehälter, Fig. 112, wurde durch das Waſſerbad erwärmt, bis die Temperatur feſt ſchien; während der kurzen Dauer des Verſuchs kann man ſie dann in der That als conſtant annehmen.

Bei einer Temperatur von 14,4° fand Becquerel den Widerſtand einer geſättigten Löſung von Kupfervitriol, deren Höhe 3,88 war, gleich dem Widerſtande eines beſtimmten Platindrahtes. Bei einer Temperatur von 56° aber ergab ſich der Widerſtand deſſelben Drahtes gleich dem einer Flüſſigkeitsſäule von der Höhe 8,50.

Da eine Temperaturerhöhung von 56 — 14,4°, alſo von 41,6° nöthig iſt, um die Leitungsfähigkeit der geſättigten Löſung des Kupfervitriols im Verhältniß von 3,88 zu 8,5 zu vermehren, ſo iſt eine Temperaturerhöhung von 35° nöthig, um die Leitungsfähigkeit dieſer Flüſſigkeit zu verdoppeln, wenn man annimmt, daß die Veränderungen der Leitungsfähigkeit denen der Temperatur proportional ſind. Bei einer Temperaturerhöhung von 1° wird demnach die Leitungsfähigkeit unſerer Löſung um $^1/_{35}$ = 0,0286 ihres Werthes bei 14,4° vermehrt.

Auf dieſelbe Weiſe fand Becquerel, daß für eine Temperaturerhöhung von 1° die Leitungsfähigkeit

einer verdünnten Löſung von Zinkvitriol um . . . 0,0223,
der käuflichen Salpeterſäure um 0,0263,

ihres urſprünglichen Werthes erhöht wird.

Hankel hat eine ausgedehntere Verſuchsreihe über dieſen Gegenſtand bekannt gemacht (P. A. LXIX. 255.). Er fand den

Leitungswiderſtand einer concentrirten Kupfervitriollöſung (*A*) vom ſpec. Gew. 1,17 bei

der Temperatur:	
0°	11,26
11,9	7,33
31,0	4,70
66,4	3,12.

Leitungswiderſtand von 108,7 Theilen der vorigen Löſung (A) mit 185 Theilen Waſſer bei

der Temperatur:	
0°	22,87
11	15,16
25	10,5
67,4	7,1.

Leitungswiderſtand einer concentrirten Löſung von ſalpeterſaurem Kupferoxyd bei

der Temperatur:	
0°	4,89
11,5	3,27
25	2,18
67,2	1,64.

Leitungswiderſtand einer concentrirten Löſung (B) von Zinkvitriol bei

der Temperatur:	
0°	13,05
9,8	8,62
27,4	4,55
67,4	2,29.

Leitungswiderſtand einer Miſchung aus 71 Theilen der Löſung B und 116 Theilen Waſſer bei

der Temperatur:	
0°	13,00
11,1	8,82
28,8	5,57
65,1	3,51.

Die Einheit, nach welcher hier die Leitungswiderſtände ausgedrückt ſind, iſt eine willkürliche.

Die Art und Weiſe, wie der zu dieſer Verſuchsreihe angewandte Flüſſigkeitsbehälter conſtruirt war, iſt mir aus Hankel's Beſchreibung nicht klar geworden.

Betrachten wir nun Hankel's Reſultate, ſo finden wir, daß die Abnahme des Leitungswiderſtandes keineswegs der Zunahme der Temperatur proportional iſt, wie Becquerel annahm.

Es entſpricht für die concentrirte Löſung des Kupfervitriols im Durchſchnitt einer Temperaturerhöhung von 1°:

zwiſchen den Temperaturgränzen	eine Abnahme des Leitungswiderſtandes um
0 und 12°	0,327
12 » 31	0,138
31 » 66,4	0,044.

Für einen beſtimmten Temperaturunterſchied iſt alſo die entſpechende Veränderung in dem Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten um ſo größer je niedriger die Temperatur iſt.

134 **Die galvaniſche Polariſation ändert ſich mit der Größe der Stomſtärke.** Mehrere Phyſiker, unter andern auch Lenz (P. A. LIX. 234.), haben die Behauptung ausgeſprochen, daß die elektomotoriſche Gegenkraft eines Voltameters von der Stromſtärke unabhängig ſey.

In dem oben erwähnten Aufſatz von Daniell (P. A. LX. 387.) wird dieſe Meinung ebenfalls vertreten, und es wird dort verſucht, ſie durch eine Reihe von Meſſungen mit dem Voltameter zu begründen; dieſe Meſſungen dürften jedoch für dieſen Zweck wohl nicht ſcharf genug ſein. Auch Wheatſtone theilt dieſe Meinung, und iſt dadurch zu einem weitern falſchen Schluß verleitet worden. Er beſtimmte nämlich für eine Kette von drei Daniell'ſchen Bechern die elektromotoriſche Kraft, aldann die elektromotoriſche Gegenkraft in einem Voltameter, welches in den Schließungsbogen jener Kette eingeſchaltet wurde. Er fand

$$E = 90$$
$$e = 69.$$

Als Säulen von 4,5 und 6 Elementen angewandt wurden, ergaben ſich faſt genau dieſelben Werthe für e, und daraus ſchloß Wheatſtone, daß die elektromotoriſche Gegenkraft als conſtant betrachtet werden könne. E iſt hier die elektromotoriſche Kraft von drei zur Säule combinirten Bechern, folglich iſt die elektromotoriſche Kraft eines Bechers $\frac{E}{3} = 30$, ein Werth, welcher kleiner iſt als e. Wheatſtone meint nun darin den Erklärungsgrund für die Erſcheinung zu finden, daß ein einzelnes Element in einem Voltameter keine Waſſerzerſetzung hervorbringen kann.

Dies iſt aber irrig. Die elektromotoriſche Gegenkraft kann nie ſtärker werden als die Urſache, welche ſie hervorruft, und man muß deshalb annehmen, daß die elektromotoriſche Gegenkraft von der Stromſtärke abhängig iſt. Dann aber kann der Strom eines einzelnen Elementes allerdings eine Waſſerzerſetzung hervorbringen, wenn ſie gleich meiſtens ſehr gering iſt. Als z. B. in den Schließungsbogen eines Daniell'ſchen Elementes ein Voltameter eingeſchaltet wurde, deſſen Platten ungefähr je 2 Quadratzoll groß waren, erhielt ich eine ſehr merkliche Gasentwickelung.

Daß die elektromotoriſche Gegenkraft im Voltameter wirklich von der Stromſtärke abhängt, zeigt ſich ſehr auffallend an einer Verſuchsreihe, welche ich

zu dieſem Zweck anſtellte. Wie bereits oben angeführt wurde, fand ich die elektromotoriſche Kraft einer Säule von 6 Zinkkohlenelementen

$$E = 4422,$$

und die elektromotoriſche Gegenkraft

$$e = 1000.$$

Die elektromotoriſche Kraft jedes einzelnen Elementes iſt $^{4422}/_{6}$ = 747, alſo allerdings kleiner als die elektromotoriſche Gegenkraft im Voltameter.

Es wurde nun die elektromotoriſche Kraft einer Säule von vier ſolchen Zinkkohlenelementen beſtimmt; es ergab ſich

$$E = 3124.$$

Nach Einſchaltung des Voltameters ergab ſich für die elektromotoriſche Kraft nur noch

$$E' = 2427,$$

es iſt alſo hier

$$e = E - E' = 700.$$

Hier, bei einem ſchwächeren Strom ergiebt ſich alſo die elektromotoriſche Gegenkraft ſchon merklich kleiner, ja ſie iſt in dieſem Falle ſchon kleiner als die elektromotoriſche Kraft eines Elementes.

Für eine Säule von zwei Elementen ergab ſich

$$E = 1604.$$

Nach Einſchaltung des Voltameters

$$E' = 984,$$

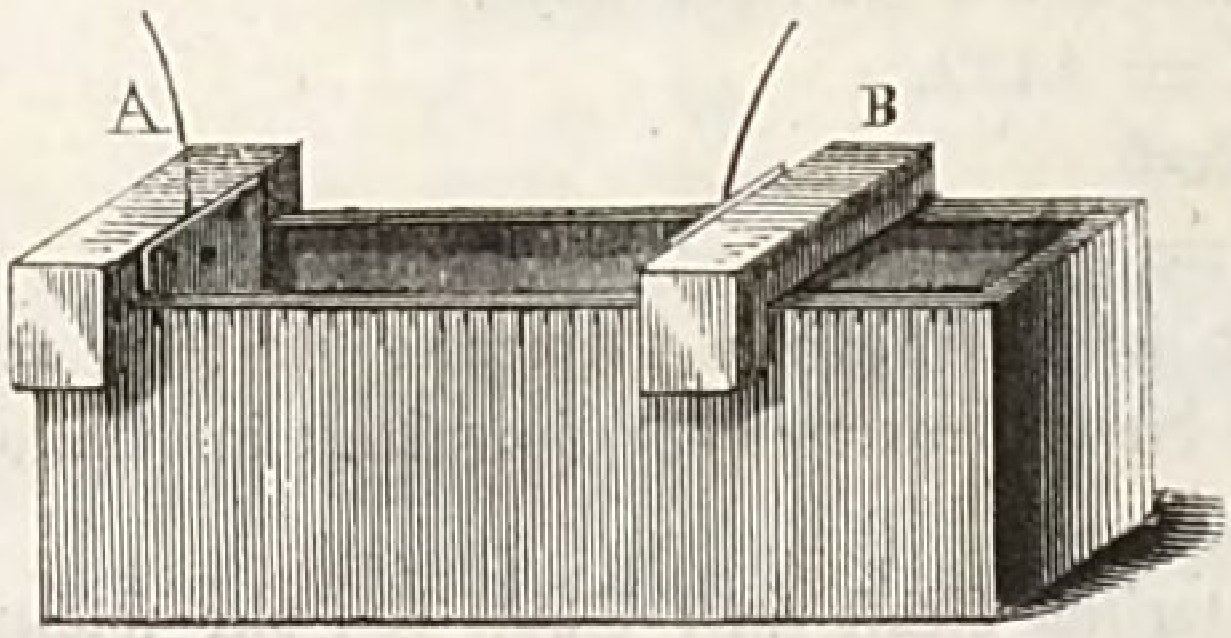
alſo

$$e = E - E' = 620.$$

Die eben mitgetheilten Zahlen machen durchaus keinen Anſpruch auf große Genauigkeit, aber das iſt durch ſie unzweifelhaft dargethan, daß, wie ſich auch vorausſehen ließ, die elektromotoriſche Gegenkraft mit abnehmender Stromſtärke ebenfalls geringer wird. Die elektromotoriſche Gegenkraft iſt demnach eine Function der Stromſtärke, welches aber die Form dieſer Function iſt, muß erſt noch durch genauere Verſuche ermittelt werden.

Daß die Größe der elektromotoriſchen Gegenkraft von der Stromſtärke abhängig iſt, hat zuerſt Poggendorff außer Zweifel geſtellt. (P. A. LXI. 613). Auch Buff (P. A. LXXIII. 497) fand die elektromotoriſche Gegenkraft des Voltameters bedeutender bei dem Strom von 3, als bei dem von nur 2 Zinkkohlenelementen; ferner fand er die Größe der Polariſation durch Einſchaltung größerer Drahtlängen in den Schließungsbogen vermindert.

Fig. 113.



Für den Fall, daß die Elektroden den ganzen Querſchnitt eines Troges ausfüllen, wie Fig. 113, zeigt ſich auch nach Buff die Polariſation etwas größer, wenn die Zerlegungszelle weniger angefüllt iſt. Wenn die Elektroden frei in die rings um ſie umgebende Flüſſigkeit hineinragen, iſt die Größe der Elektroden ohne Einfluß auf die Größe der Polariſation.

135 **Numeriſche Beſtimmung der Polariſation.** Lenz und Saweljev haben eine große Reihe von Verſuchen zur Beſtimmung der galvaniſchen Polariſation in verſchiedenen Fällen angeſtellt (Bull. de la classe phys. math. de l'acad. d. scienc. de St. Petersb. T. V. p. 1. P. A. LXVII. 497). Das Verfahren, welches ſie anwandten, um die Größe der Polariſation in einer Zerſetzungszelle zu beſtimmen, war das, daß ſie nach der Wheatſtone'ſchen Methode (Seite 267) die elektromotoriſche Kraft einer Säule einmal bei metalliſcher Schließung und dann nach Einſchaltung der Zerſetzungszelle beſtimmten. Die Differenz beider Zahlen giebt die Größe der durch die Polariſation in der Zerſetzungszelle hervorgerufenen elektromotoriſchen Gegenkraft an.

Folgendes Beiſpiel mag die Art der Beobachtung erläutern.

Um die Ablenkung der Buſſolennadel von 20° auf 10° herabzubringen, mußte man einſchalten

bei metalliſcher Schließung	19,91 Rheoſt. Wind
als in den Schließungsbogen eine Zerſetzungszelle eingeſchaltet wurde, gebildet durch 2 Platinplatt. in Salpeterſ. tauchend	17,37 »
Palariſation der Zerſetzungzelle	2,54.

Nach dieſer Methode ergaben ſich folgende Werthe für die galvaniſche Polariſation verſchiedener Zerſetzungszellen:

Kupferplatten in Kupfervitriol	0,07
Amalgamirte Zinkplatten in Salpeterſäure .	0,03
Kupferplatten in Salpeterſäure	0,01.

Dieſe Verſuche beweiſen, daß die Polariſation verſchwindet, wenn die Ausſcheidung von Gaſen an den Elektroden aufhört; in allen drei Fällen tritt an der poſitiven Elektrode kein Sauerſtoff auf, weil er das Metall ſogleich bei ſeiner Ausſcheidung aus den Waſſer oxydirt; die Ausſcheidung von Waſſerſtoffgas an den negativen Elektroden iſt aber im erſten Fall dadurch verhindert, daß der nascirende Waſſerſtoff dem Kupferoxyd ſeinen

Sauerſtoff entzieht und Kupfer metalliſch niederſchlägt; in den beiden andern Fällen dadurch, daß der naſcirende Waſſerſtoff ſogleich durch die Salpeterſäure oxydirt wird.

Hier alſo, wo ſich die Elektroden nicht mit Gashüllen bekleiden können, findet keine Polariſation Statt; die geringen Zahlenwerthe, welche wir oben angegeben finden, rühren wohl nicht von einer Polariſation der Elektroden, ſondern daher, daß ſie im Lauf des Verſuchs nicht gleichartig bleiben, indem die eine Platte angefreſſen wird, die andere nicht, und dies veranlaßt, daß das Plattenpaar an und für ſich ſchon eine geringe elektromotoriſche Kraft hat.

Auch Buff fand die Polariſation für Kupferplatten in Kupfervitriol und für Zinkplatten in Zinkvitriol verſchwindend klein. (P. A. LXXIII. 497.)

Lenz und Saweljev fanden nun ferner für die Polariſation von

Platinplatten in Salpeterſäure	2,48
Platinplatten in Schwefelſäure *)	5,46
Amalgamirte Zinkplatten in Schwefelſäure . .	1,00
Kupferplatten in Schwefelſäure	2,15
Zinnelektroden in Schwefelſäure	1,45
Eiſenelektroden in Schwefelſäure	0,33
Graphit in concentrirter Salpeterſäure . .	1,26.

Die hier angegebenen Zahlenwerthe ſind meiſt das Mittel aus mehreren Verſuchen.

In dem erſten Falle, Platinplatten in Salpeterſäure, findet keine Waſſerſtoffablagerung an der negativen Elektrode Statt, die Polariſation im Werth 2,48 iſt alſo lediglich der Polariſation an der poſitiven Elektrode, alſo derjenigen zuzuſchreiben, an welcher das Sauerſtoffgas auftritt; 2,48 iſt demnach die Größe der Polariſation, welche eine Platinplatte durch Sauerſtoff erfährt.

Im zweiten Fall, Platinplatten in Schwefelſäure, findet eine Gasablagerung an beiden Elektroden Statt, der Werth 5,46 iſt alſo die Summe der Polariſationen beider Platten; iſt die Polariſation des Platins durch Sauerſtoff 2,48, ſo bleibt demnach für die Polariſation des Platins durch Waſſerſtoff 5,46 — 2,48 = 2,98, alſo nahezu 3.

In den vier folgenden Fällen, Zink, Kupfer, Zinn und Eiſen in Schwefelſäure, wird die poſitive Elektrode angegriffen, die entſprechenden Zahlenwerthe ſind alſo die Werthe der Polariſation dieſer Metalle durch Waſſerſtoff. Stellen wir dieſe Reſultate zuſammmen, ſo haben wir für die Polariſation von

---

*) Dieſe Säure beſtand aus 6 Volumtheilen concentrirter Schwefelſäure auf 100 Theile Waſſer.

Platin in Sauerſtoff	2,48
Platin in Waſſerſtoff	3,00
Zink in Waſſerſtoff	1,00
Kupfer in Waſſerſtoff	2,15
Zinn in Waſſerſtoff	1,45
Eiſen in Waſſerſtoff	0,33
Graphit oder Kohle in Sauerſtoff .	1,25.

Setzt man in den Schließungsbogen einer Säule eine Schließungszelle, welche aus ungleichartigen Platten beſteht, ſo wirkt dieſe ſelbſt wieder elektromotoriſch, und die Wirkung dieſer elektromotoriſchen Kraft der Zerſetzungszelle wird nach Umſtänden mit der Polariſation gleich oder entgegengeſetzt gerichtet ſein. Nehmen wir an, die elektromotoriſche Kraft der Zerſetzungszelle wirke ebenſo wie die Polariſation der elektromotoriſchen Kraft der Säule entgegen, ſo wird die Differenz D, welche die Meſſung der elektromotoriſchen Kraft der Säule ergiebt, je nachdem die Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt oder nicht, die Summe der elektromotoriſchen Kraft der Zerſetzungszelle und der Polariſation ſeyn, oder es iſt

$$D = e + p,$$

wenn wir mit e die elektromotoriſche Kraft der Zeſetzungszelle, mit p die in ihr auftretende Polariſation bezeichnen. Hat man nun für verſchieden conſtruirte Zerſetzungszellen (etwa beſtehend aus Platin in Salpeterſäure, und Zink in Schwefelſäure, ferner Platin in Salpeterſäure und Kupfer in Kalilöſung) den Werth von D beſtimmt, ſo kann man für dieſe Combination den Werth von e berechnen, wenn man die hierher gehörigen Werthe von p in Abzug bringt. Auf dieſe Weiſe ermittelten Lenz und Saweljev die elektromotoriſche Kraft folgender Combinationen:

Platin in Salpeterſäure, combinirt mit

Platin in Salzſäure	— 0,26
Platin in Schwefelſäure	— 0,02
Platin in Salpeterſäure	0,00
Graphit in Salpeterſäure	0,01
Gold in Salpeterſäure	0,06
Gold in Schwefelſäure	0,25
Queckſilber in Schwefelſäure	0,7
Queckſilber in ſalpeterſaurem Queckſilberoxydul	0,79
Platin in Kalilöſung	1,20
Reines Kupfer in Schwefelſäure . . .	1,39
Etwas oxydirtes Kupfer in Schwefelſäure	1,75
Kupfer in Kupfervitriol	2,00
Gold in Kalilöſung	2,31

Zinn in Salzſäure 2,38
Eiſen in Salzſäure 2,75
Graphit in Kalilöſung 2,84
Eiſen in Schwefelſäure 2,92
Zinn in Schwefelſäure 2,95
Kupfer in Kalilöſung 3,10
Zinn in Kalilöſung 3,94
Zink in verdünnter Salpeterſäur 4,05
Zink in verdünnter Salzſäure 4,07
Zink in Schwefelſäure 4,17
Eiſen in Kalilöſung 4,65
Zink in Kalilöſung . . . . 5,48.

Für Zink in Schwefelſäure und Kupfer in Kupfervitriol fanden die beiden Petersburger Phyſiker die elektromotoriſche Kraft 2,17. Dies giebt uns nun einen Anhaltspunkt, um die eben mitgetheilten Zahlenwerthe für Polariſation und elektromotoriſche Kraft auf unſere (chemiſche) Einheit zu reduciren. Wir haben nämlich für die elektromotoriſche Kraft eines Daniell'ſchen Elementes den Werth 470 (Seite 256) gefunden, wir müſſen alſo die Zahlenwerthe, wie ſie Lenz und Saweljev angeben, mit $\frac{470}{2,17} = 217$ multipliciren, um ſie auf chemiſches Maaß zu reduciren.

Für die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Elementes (Platin in Salpeterſäure, Zink in Schwefelſäure) fanden ſie die elektromotoriſche Kraft 4,17, alſo nach chemiſchem Maaß 4,17 . 217 = 905.

Für die Polariſation verſchiedener Metallplatten ergeben ſich demnach, in chemiſchem Maaß ausgedrückt, folgende Werthe:

Platin in Sauerſtoff 538
Platin in Waſſerſtoff 651
Zink in Waſſerſtoff 217
Kupfer in Waſſerſtoff 466
Zinn in Waſſerſtoff 314
Eiſen in Waſſerſtoff 72
Kohle in Sauerſtoff 271,

für die Geſammtpolariſation der beiden Platinelektroden in verdünnter Schwefelſäure

1185,

während ich für dieſen Fall die Zahl

1000

gefunden habe. (Seite 316.)

Polariſation an platinirten Platinplatten. Poggendorff 136 machte zufällig die Beobachtung, daß in einem Element der Grove'ſchen

Gasſäule, welches in den Schließungsbogen eines Grove'ſchen Elementes eingeſchaltet wurde, eine unerwartet bedeutende Gasentwickelung ſtattfand, während ein einfaches Grove'ſches Element, durch ein Voltameter mit blanken Platinplatten geſchloſſen, nur eine höchſt unbedeutende Waſſerzerſetzung lieferte (P. A. LXX. 183.)

Um meſſende Vergleichungen anſtellen zu können, conſtruirte er ein Voltameter mit platinirten Platinplatten, welches er mit einem gewöhnlichen Voltameter verglich. Das Voltameter mit blanken Platten lieferte im Schließungsbogen eines Grove'ſchen Elementes in 30 Minuten

0,89 Kubikcentimeter Knallgas,

während das Voltameter mit platinirten Platten unter denſelben Umſtänden

77,68 Kubikcentimeter Gas,

alſo faſt 87mal ſo viel lieferte.

Dies kann nur daher rühren, daß die Polariſation an platinirten Platten bedeutend geringer iſt als an blanken. Poggendorff hat dies durch directe Meſſungen bewieſen.

Die elektromotoriſche Kraft einer Säule von zwei Grove'ſchen Elementen ergab ſich $= 64$; nach Einſchaltung des Voltameters mit platinirten Platten war ſie noch 31, es war mithin die Polariſation an den platinirten Platten

$$64 - 31 = 33.$$

Als an die Stelle des Voltameters mit platinirten Platten das mit blanken Platinplatten geſetzt wurde, ergab ſich die elektromotoriſche Kraft der geſammten Kette gleich 22, alſo die Polariſation an den blanken Platinplatten

$$64 - 22 = 42.$$

Auf Seite 284 iſt angeführt, daß die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Elementes als Mittel aus den Beobachtungen verſchiedener Phyſiker nach chemiſchem Maaß 777 ſei; demnach iſt die elektromotoriſche Kraft von zwei Elementen gleich 1554; auf chemiſches Maaß reducirt, iſt demnach der Werth der Polariſation der blanken Platten, welchen Poggendorff fand,

$$42 \,.\, \frac{1554}{64} = 1020,$$

was mit dem Werth der Polariſation, wie er oben auf Seite 316. angegeben iſt, ſehr nah übereinſtimmmt.

Für platinirte Platten iſt demnach die Polariſation nach chemiſchem Maaß

$$33\,\frac{1554}{64} = 801.$$

Auch Poggendorff fand, wie bereits auf Seite 327 erwähnt wurde, daß die Stärke der Polariſation mit der Stromſtärke abnimmt; als durch

Vergrößerung des außerweſentlichen Widerſtandes die Stromſtärke ſo geſchwächt wurde, daß die Nadel der in den Schließungsbogen eingeſchalteten Sinusbuſſole von 47° 49′ auf 5° 44′ zurückging, nahm die Polariſation im Voltameter von 42 bis 38, oder nach chemiſchem Maaß von 1020 bis 922 ab.

Nach Poggendorff's Verſuchen iſt bei platinirten Platten die Größe der Polariſation nur ſehr wenig von den Veränderungen der Stromſtärke abhängig, ſo daß man ſie ohne merkliche Fehler als conſtant annehmen kann.

Auch Svanberg hat viele Verſuche über galvaniſche Polariſation und zwar mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angeſtellt. (P. A. LXXIII. 298.) Für die Polariſation, welche der Strom von vier Daniell'ſchen Elementen in einem Voltameter mit blanken Platinplatten hervorbringt, fand er, auf chemiſches Maaß reducirt, den Werth

1072.

Svanberg machte die Bemerkung, daß die Polariſation im Voltameter allmälig wächſt, und daß es einige Zeit dauert bis ſie ihr Maximum erreicht. Um nun das Maximum der Polariſation richtig zu beſtimmen, machte er ſeine Meſſungen erſt, nachdem der Strom einige Stunden lang durch das Voltameter hindurchgegangen war.

Metallplatten mit rauhen Oberflächen ergaben nach ſeiner Meſſung eine geringere Polariſation als polirte, was wohl mit Poggendorff's Beobachtung in Zuſammenhang ſteht, daß die Polariſation an platinirten Platinplatten geringer iſt, als an blanken. Die Polariſation von Kupferplatten durch Waſſerſtoffgas fand Svanberg im Verhältniß von 12 zu 8 geringer, wenn dieſe Platten rauh gefeilt, oder noch beſſer durch galvaniſch gefälltes Kupfer feinkörnig gemacht, als wenn ſie polirt waren.

Buff's Unterſuchungen über galvaniſche Polariſation. Einzelne Reſultate der Unterſuchungen, welche Buff über galvaniſche Polariſation anſtellte, wurden bereits Oben erwähnt, wir müſſen jedoch hier noch Einiges aus ſeiner Abhandlung hervorheben. (P. A. LXXIII. 497.) 137

Buff führt an, daß eine Ablenkung von 45° an ſeiner Tangentenbuſſole einer Waſſerſtoffentwickelung von 21,08 C.C. in der Minute entſpreche (reducirt auf 0° Temperatur und 760^{mm} Druck?), was einer Knallgasentwickelung von 31,6 C.C. gleich iſt; ſeine Stromſtärken werden demnach auf chemiſches Maaß reducirt, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 31,6 multiplicirt.

Buff findet im Laufe dieſer Unterſuchung die elektromotoriſche Kraft eines Daniell'ſchen Elementes gleich 4,207; da bei zu Grundlegung unſerer Einheiten die elektromotoriſche Kraft dieſes Elementes 470 iſt, ſo muß man alſo Buff's Angaben der elektromotoriſchen Kraft ſowohl, als auch

ſeine Polariſationswerthe mit $\frac{470}{4,207} = 111$ multipliciren, um ſie mit unſern vergleichbar zu machen. **Buff's** Vergleichung zwiſchen Stromſtärke und Polariſationsgröße in einem Voltameter mit blanken Platinplatten gab (auf unſere Einheiten übertragen) folgende Reſultate:

Stromſtärke.	Polariſation.
43,7	1256
19,7	1165
11,5	1132
8,0	1118
4,4	1069.

Bei dieſen Verſuchen bildeten die Platinelektroden die gegenüberſtehende Seite eines Troges; die vorſtehenden Zahlen beziehen ſich auf den Fall, daß der Trog bis zu einer Höhe von 45 Millimeter angefüllt war.

Bei einer Anfüllungshöhe von 10 Millimeter ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von Stromſtärke und Polariſation:

Stromſtärke.	Polariſation.
20,5	1199
11,5	1170.

Unter ſonſt gleichen Umſtänden ergab ſich alſo die Polariſation etwas größer bei geringerer als bei größerer Anfüllungshöhe des Troges, wie es bereits auf Seite 328 angeführt wurde.

Buff bemerkt ebenfalls, daß der Eintritt des Maximums der Polariſation immer einige Zeit erfordere.

Für eine Zerlegungszelle, gebildet aus zwei Zinkplatten in einer Auflöſung von Zinkvitriol ſtehend, fand **Buff** den Polariſationswerth

$$p = 0,85,$$

nach unſern Einheiten

$$p = 94.$$

An dieſes Reſultat ſchließt er folgende Betrachtungen an:

„Ich betrachte $p = 0,85$ als die elektriſche Differenz des Zinks und »Waſſerſtoffs, oder doch als einen Näherungswerth derſelben. Ebenſo be»trachte ich den Polariſationswiderſtand der Platinplatten in verdünnter »Schwefelſäure als einen Näherungswerth für die elektriſche Differenz des »Sauerſtoffs und Waſſerſtoffs. Denn durch die Waſſerſtoffſchicht an der »negativen Platinplatte, ſo wie durch die Sauerſtoffſchicht an der poſitiven »Platinplatte wird daſſelbe bewirkt, wie wenn nicht zwei Platinſtreifen, ſon»dern ein Streifen feſten Waſſerſtoffs und ein Streifen feſten Sauerſtoffs »in die Säure waren eingeführt worden. — — — Die bei unmittelbarer »Berührung von Waſſerſtoff und Sauerſtoff geweckte elektromotoriſche »Thätigkeit, oder die elektriſche Differenz beider Stoffe bezeichnet demnach

»die äußerſten Gränzen des Widerſtandes, der durch die Polariſation zweier »Metalle im Zerſetzungsgefäße überhaupt entſtehen kann. Man wird ſich »dieſer Gränze um ſo mehr nähern, je vollſtändiger die eingetauchten Plat- »ten ſich mit den Gaſen zu bekleiden vermögen, und je vollſtändiger dadurch »die unmittelbare Berührung der metalliſchen mit den flüſſigen Leitern ver- »mieden wird.«

In derſelben Abhandlung finden wir nun ferner mehrere Verſuchsreihen, welche die Abweſenheit der Polariſation in allen Fällen darthun, in denen die Ablagerung der Gaſe an den Elektroden verhindert wird, was bereits Seite 329 erwähnt wurde.

Verminderung der Polariſation durch Erwärmung der Flüſ- 138
ſigkeit. In der Biblioth. univers. Febr. 1837 p. 388. beſchreibt De la Rive folgenden Verſuch. In den Schließungsbogen einer Säule von vier Elementen ſchaltete er außer einem Galvanometer eine Zerſetzungszelle ein, welche aus zwei Platinplatten, in ein Glas mit Waſſer getaucht, beſtand; das Galvanometer zeigte eine Ablenkung von 12°. Nun brachte er unter die poſitive Polplatte, an welcher ſich Sauerſtoffgas entwickelte, eine ſtarke Alkoholflamme, ſo daß dieſe Platte zu glühen anfing und der in die Flüſſigkeit tauchende Theil durch Mittheilung hinlänglich erwärmt wurde, um dieſe zum Kochen zu bringen (wahrſcheinlich war alſo die Platinplatte ſo ┐ umgebogen). Es war keine Veränderung in der Ablenkung bemerkbar; daſſelbe geſchah mit der negativen Platte, und nun ſtieg die Nadel auf 30°. Nach Wegnahme der Lampe ſank die Ablenkung wieder auf 12°.

Als das Waſſer durch verdünnte Schwefelſäure erſetzt wurde, war die urſprüngliche Ablenkung 45°, ſie ſtieg durch Erwärmung der negativen Platte auf 80°, während die Erwärmung der poſitiven Platte abermals keinen Einfluß hatte.

De la Rive ſchließt daraus, daß die Wärme keinen Einfluß habe auf den Uebergang des elektriſchen Stromes aus einem Metall in eine Flüſſigkeit, daß ſie aber den Uebergang deſſelben aus einer Flüſſigkeit in ein Metall merklich befördere.

Gegen dieſe ſonderbare Meinung tritt nun Vorſſelman de Heer auf. Er ſchreibt die Wirkung nicht direct der Wärme, ſondern der durch das Kochen der Flüſſigkeit hervorgebrachten Bewegung derſelben zu, durch welche die polariſirenden Gaſe von den Elektroden mit fortgeſpült werden. Er unterſtützt ſeine Anſicht durch die Thatſache, daß man auch ohne Wärme dieſelbe Wirkung hervorbringen kann, wenn man die Platte nur ein wenig in der Flüſſigkeit erſchüttert, oder auch die Flüſſigkeit in der Nähe der Platten durch einen Glasſtab in Bewegung bringt.

Er nahm eine Volta'ſche Säule von fünf Paaren mit reinem Waſſer geladen. Zwei Platindrähte, die Pole der Säule bildend, tauchten in

ein Glas mit deſtillirtem Waſſer; das in die Kette gebrachte Galvanometer zeigte 45°, doch nahm dieſe Ablenkung in Folge der wachſenden Polariſation raſch ab, ſie ſtieg aber ſtets wieder, wenn man den negativen Draht erſchütterte; ſie war

nach 15 Min. 34° — nach Erſchütterung des negativen Drahtes 40°,
» 30 » 16° — » » » » » 38°,
» 60 » 4° — » » » » » 32°.

Die Erſchütterung des poſitiven Drahtes hatte keinen Einfluß.

Aehnliche, wenn auch weniger auffallende Reſultate wurden mit Kupferdrähten erhalten.

Gewiß iſt die Erklärung Vorſſelman's die richtige, doch läßt er den Umſtand unerklärt, warum die Erwärmung oder Erſchütterung des poſitiven Poldrahtes ohne Einfluß iſt. Sollte wohl der Sauerſtoff feſter an den Platinplatten haften als der Waſſerſtoff?

Nach einer Notiz im »Jahresbericht über die Fortſchritte der Chemie, Phyſik u. ſ. w. von Liebig und Kopp. Gießen 1849, Seite 297.« hat Becker in Gießen die Abnahme der Polariſation bei ſteigender Temperatur der Zerſetzungsflüſſigkeit genauer unterſucht; doch iſt ſeine Arbeit noch nicht veröffentlicht.

139 **Urſache der galvaniſchen Polariſation.** Einer der erſten, welche gegen die Hypotheſe eines Uebergangswiderſtandes auftraten und dagegen die Exiſtenz einer elektromotoriſchen Gegenkraft im Voltameter zu begründen ſuchten, war Schönbein. Während alle bisher betrachteten Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand ſich auf die Beziehungen der Stromleitung durch Elektrolyte zu dem Ohm'ſchen Geſetze ſtützen, während man auf dieſem Wege indirect zu der Anſicht geführt wurde, daß die galvaniſche Polariſation den die Elektroden bedeckenden Gasſchichten zuzuſchreiben ſey, faßt Schönbein den Gegenſtand von einer ganz andern Seite auf, und ſucht direct den polariſirenden Einfluß der Gaſe auf Metallplatten nachzuweiſen.

Die wichtigſten hierher gehörigen Aufſätze Schönbein's ſind folgende:

Beobachtungen über die elektriſche Polariſation feſter und flüſſiger Leiter (P. A. XLVI. 109.).

Neue Beobachtungen über Volta'ſche Polariſation feſter und flüſſiger Leiter (P. A. XLVII. 101.).

Ueber Volta'ſche Polariſation feſter und flüſſiger Körper (P. A. LVI. 135.).

Ich will in dem Folgenden die weſentlichſten Reſultate der Schönbein'ſchen Unterſuchungen zuſammenſtellen, ohne gerade über den Inhalt dieſer Abhandlungen im Einzelnen zu berichten.

Der auf Seite 199 des 2ten Bandes meiner Phyſik (3te Auflage) an=

geführte Verſuch, daß wenn man durch ein Voltameter den Strom einer Kette hat gehen laſſen, und man dann raſch nach Unterbrechung des Stromes jede der beiden Voltameterplatten mit einem Drahtende eines Multiplicators in Berührung bringt, daß alsdann dieſer Multiplicator einen Strom anzeigt, welcher das Voltameter in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, wie der urſprüngliche Strom der Kette; dieſer Verſuch, welcher bereits 1827 von de la Rive angeſtellt wurde, beweiſt nur, daß in dem Voltameter durch den primären Strom eine elektromotoriſche Gegenkraft erzeugt wird; er giebt uns aber keinen Aufſchluß über Grund und Urſache derſelben.

Becquerel ſtellt nun die Behauptung auf, daß nur in dem Falle der fragliche ſecundäre Strom eintrete, wo die Poldrähte in eine ſaliniſche Flüſſigkeit eintauchen. Unter dieſen Umſtänden, ſagt Becquerel, zerſetze ſich das Salz, die Baſis häufe ſich um die negative, die Säure um die poſitive Elektrode an, und bringe man die Drähte nach der Abtrennung von der Säule in leitende Verbindung, ſo entſtehe ein Strom in Folge der Wiederverbindung von Säure und Baſis.

Schönbein zeigte nun, daß zur Hervorbringung des ſecundären Stromes keineswegs ſaliniſche Flüſſigkeiten nothwendig ſind, daß der Verſuch mit reinem durch reine Schwefelſäure nur ganz ſchwach geſäuertem Waſſer vollkommen gelingt, ſelbſt wenn die Platinelektroden nur momentan mit der Säule communicirten.

Dieſe ſecundären Ströme ſind keineswegs von nur augenblicklicher Dauer, ſie währen je nach Umſtänden längere oder kürzere Zeit. In einem Fall, in welchem die urſprüngliche Ablenkung der Galvanometernadel durch den ſecundären Strom 80° betrug, dauerte es 4 Minuten, ehe derſelbe ganz verſchwand; bei einer anfänglichen Ablenkung von 160° dauerte es 30 Minuten.

Schönbein brachte den ſecundären Strom mit Elektroden von Gold eben ſo gut hervor, wie mit ſolchen von Platin. Wurden Eiſendrähte ſtatt Platin und Kalilöſung ſtatt Schwefelſäure angewendet, ſo zeigte ſich der ſecundäre Strom gleichfalls; Verſuche mit verſilberten Kupferdrähten, Zink und andern Metallen gaben gleiche Reſultate, ſo daß es in hohem Grade wahrſcheinlich iſt, daß alle metalliſchen Leiter die Fähigkeit beſitzen, elektriſch polariſirt zu werden.

In dem zweiten der oben erwähnten Aufſätze (P. A. XLVII. 101.) gelangt nun Schönbein zur Erklärung des Phänomens. Die wichtigſten Thatſachen, welche zu derſelben führen, ſind folgende:

1) Werden Platindrähte oder Platten, welche kürzere oder längere Zeit in reinem Waſſer, oder in Waſſer mit Schwefelſäure oder Salzſäure verſetzt, als Elektroden gedient haben, in einer Weingeiſtflamme bis zum

Rothglühen erhitzt, ſo verlieren ſie ihr elektromotoriſches Vermögen vollſtändig.

2) Wird die poſitiv polariſirte Polplatte, alſo die, welche als negative Elektrode gedient hat, nur auf einige Augenblicke in eine Chlor- oder Bromatmoſphäre gebracht, ſo wird ihre elektromotoriſche Kraft völlig vernichtet; daſſelbe Reſultat wird auch durch ein längeres Eintauchen in Sauerſtoffgas erhalten.

3) Ein negativ polariſirter Platindraht verliert ſeine elektromotoriſche Kraft, wenn man ihn einige Secunden lang in eine Waſſerſtoffatmoſphären taucht.

4) Durch Eintauchen poſitiv oder negativ polariſirter Platinplatten in eine Luftart, welche weder auf Sauerſtoffgas noch auf Waſſerſtoffgas in Gegenwart von Platin chemiſch einwirkt, wird die elektromotoriſche Kraft der Platten nicht aufgehoben.

5) Eine Platinplatte, welche nur wenige Secunden lang in eine Atmoſphäre von Waſſerſtoffgas eingetaucht war, iſt poſitiv polariſirt.

6) Gold- und Silberdrähte erlangen kein elektromotoriſches Vermögen, wenn man ſie in Waſſerſtoffgas eintaucht.

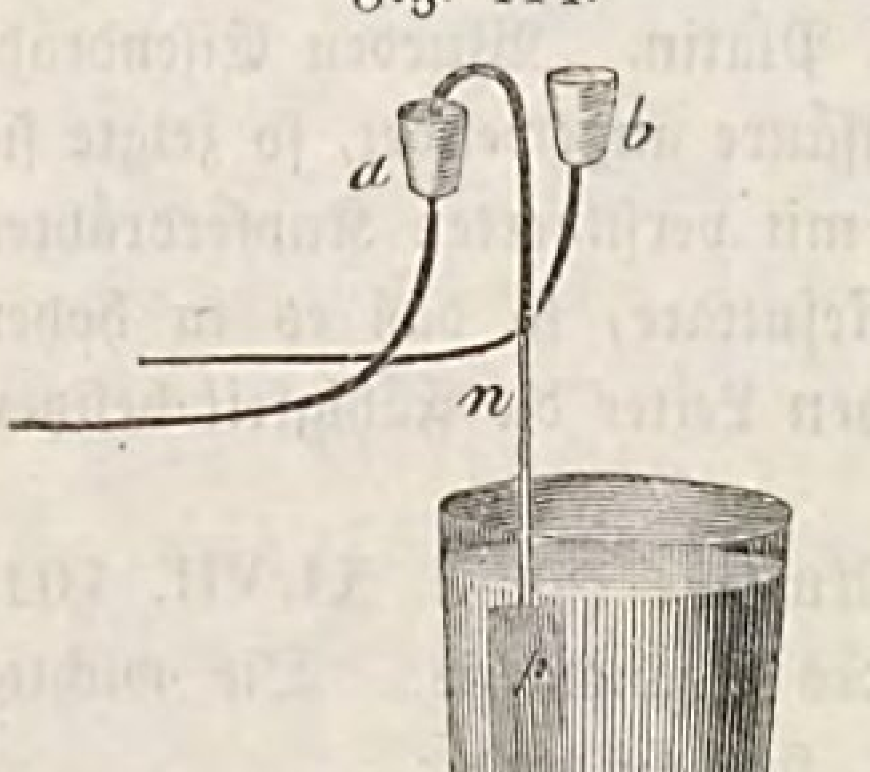
7) Ein Platindraht in Sauerſtoffgas gebracht, wird nicht negativ polariſirt, eben ſo wenig Gold und Silber.

8) Platin, Gold und Silber, nur für einige Augenblicke in gasförmiges Chlor gebracht, werden negativ polariſirt. Bromgas übt auf die genannten Metalle die gleiche Wirkung aus.

Ehe wir zur weitern Beſprechung dieſer Thatſachen übergehen, wollen wir noch die zweckmäßigſte Art betrachten, auf welche man die elektriſche Polariſation einer Metallplatte nachweiſen kann.

In ein Queckſilbernäpfchen *a*, welches mit dem einen Drahtende eines Multiplicators in Verbindung ſteht, iſt der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt ſeyn muß, und die in ein Gefäß mit etwas angeſäuertem Waſſer herabhängt. Hängt man in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die ſaure Flüſſigkeit eintaucht, ſo bleibt natürlich die Nadel vollkommen ruhig, da ſich ja die beiden Platinplatten elektromotoriſch vollkommen gleich verhalten. — Iſt aber die zweite Platinplatte, welche mit *p'* be-

Fig. 114.



zeichnet werden mag, auf irgend eine der eben beſprochenen Arten polariſirt worden, ſo entſteht ein Ausſchlag der Galvanometernadel, aus deren Richtung man auf die Richtung des Stromes ſchließen kann.

War z. B. die Platinplatte p' in Waſſerſtoffgas eingetaucht geweſen, ſo verhält ſie ſich elektropoſitiv gegen die andere, d. h. das Galvanometer zeigt einen Strom an, der von p' durch die Flüſſigkeit nach p geht. Wird die Platinplatte p' in Chlorgas eingetaucht, ſo zeigt der Ausſchlag der Nadel, daß p' elektronegativ gegen p iſt.

Hat die Platinplatte p' als negative Polplatte zur Waſſerelektrolyſe gedient, ſo verhält ſie ſich genau eben ſo, als ob ſie in eine Flaſche mit Waſſerſtoffgas getaucht geweſen wäre, d. h. zur Schließung des Apparates, Fig. 114, angewandt, wird ſie einen Strom hervorbringen, welcher von p' durch die Flüſſigkeit nach p geht.

Alle die Erſcheinungen, welche wir ſo eben betrachtet haben, deuten darauf hin, daß die Gasſchicht, welche ſich bei der Elektrolyſation an den Elektroden ausſcheidet, wirklich die Urſache der galvaniſchen Polariſation ſey. — Iſt eine ſolche Gasſchicht die Urſache der Polariſation, ſo verſteht ſich von ſelbſt, daß ſie durch Glühen der Metallplatte vernichtet wird. Dieſer Umſtand allein würde jedoch noch nichts beweiſen, weil die Glühhitze denkbarer Weiſe zerſtörend auf die Polarität wirken könnte, auch wenn dieſe von andern Urſachen, als von einer Gasſchicht, abhinge. Entſchiedener ſpricht ſchon der zweite Verſuch. Daß die poſitive Polarität eines Platindrahtes augenblicklich durch Chlor vernichtet wird, läßt ſich kaum anders, als durch die chemiſche Einwirkung des Chlors auf den Waſſerſtoff erklären, durch welche unter Bildung von Salzſäure jede Spur von Waſſerſtoffgas entfernt wird. Beim Eintauchen in Sauerſtoff wird das an der Platinplatte haftende Waſſerſtoffgas durch die Mitwirkung der Platinplatte zur Verbindung mit dem Sauerſtoff veranlaßt und dadurch gleichfalls die Urſache der Polariſation entfernt. Daß der Sauerſtoff die poſitive Polarität nicht ſo ſchnell vernichtet wie Chlor, hat in der langſamen Action des Sauerſtoffs auf den Waſſerſtoff ſeinen Grund.

Die unter 4. angeführte Thatſache ſpricht ebenfalls zu Gunſten der Anſicht, daß die Urſache des polaren Zuſtandes der Elektroden in Waſſerſtoff und Sauerſtoff liege, welche an denſelben hängen; zur völligen Gewißheit dürfte dieſe Vorausſetzung aber durch das Factum erhoben werden, welches unter Nr. 5. angeführt iſt. Wenigſtens ſcheint durch letzteres unwiderleglich bewieſen zu ſeyn, daß die poſitive Polarität der negativen Elektroden von Waſſerſtoff herrühre. — Ein Platindraht, welcher gar nicht als negativer Pol gedient hat und dem Einfluß des Stromes auf keinerlei Weiſe unterworfen war, erlangt durch den Umſtand allein, daß

er nur wenige Secunden mit Waſſerſtoff in Berührung geſtanden, alle Volta'ſchen Eigenſchaften eines poſitiv galvaniſirten Drahtes.

Durch dieſe Verſuche hat Schönbein in der That den Schleier gehoben, welcher bis dahin das Weſen der galvaniſchen Polariſation verhüllte.

Nur zwei der oben mitgetheilten Thatſachen, nämlich die unter 6. und 7. angeführten ſcheinen der oben angedeuteten Erklärung zu widerſprechen.

Während eine Platinplatte, welche als poſitive Elektrode gedient hat, negativ polariſirt iſt, kann man dieſe Polariſation durch Eintauchen in Sauerſtoffgas nicht hervorbringen; dies deutet darauf hin, daß die negative Polarität der poſitiven Polplatte nicht dem Sauerſtoffgas zuzuſchreiben ſey.

Der Umſtand, daß Gold- und Silberdrähte in Waſſerſtoffgas nicht elektropoſitiv werden, während dieſelben Metalle, wenn ſie nur auf wenige Secunden die Rolle der negativen Elektroden geſpielt haben, merklich poſitiv polariſirt erſcheinen, erregt wenigſtens Zweifel gegen die Anſicht, als ob dem Waſſerſtoffgas die poſitive Polariſation der negativen Elektroden beizumeſſen ſey.

Bevor wir zur nähern Betrachtung dieſes Umſtandes übergehen, wollen wir zunächſt die Polariſation der Flüſſigkeiten betrachten, welche Schönbein gleichfalls in den oben angeführten Aufſätzen beſpricht.

140 **Polariſation flüſſiger Körper.** Wird verdünnte Salzſäure oder verdünnte Schwefelſäure, in einer Uförmig gebogenen Röhre enthalten, durch Platinelektroden einige Secunden lang mit den Polen einer Säule verbunden, deren Strom eine merkliche Gasentwicklung in der ſauren Flüſſigkeit veranlaßt, erſetzt man hierauf die gebrauchten Drähte durch neue, d. h. durch ſolche, die noch nicht als Poldrähte gedient haben, und verbindet man durch dieſelben die Säure mit dem Galvanometer, ſo weicht die Nadel dieſes Inſtrumentes ab und zwar nach einer Richtung, welche anzeigt, daß der poſitive Strom von derjenigen Flüſſigkeitsſäule, in welche der negative Poldraht eingetaucht war, nach derjenigen geht, in welcher die poſitive Elektrode ſich befand, oder, mit andern Worten, dieſer ſecundäre Strom iſt dem Strom der Säule entgegengeſetzt.

Hier zeigen alſo die Flüſſigkeitsſäulen eine galvaniſche Polariſation.

Der Grund und das Weſen dieſer Polariſation wird durch folgende Verſuche erläutert:

1) Wird Waſſer (durch etwas Schwefelſäure leitender gemacht) mit Waſſerſtoffgas geſchüttelt, dieſe Flüſſigkeit in eine unten mit einer Blaſe verbundene Röhre gebracht, letztere in ein Gefäß geſtellt, welches ebenfalls etwas angeſäuertes, aber von Waſſerſtoff freies Waſſer enthält, und verbindet man beide Flüſſigkeiten durch Platindrähte mit dem Galvanometer, ſo erhält man einen Strom, welcher von der Waſſerſtofflöſung zur andern

Flüſſigkeit geht. Es verhält ſich mit andern die waſſerſtoffhaltige Flüſſigkeit zur andern, wie Zink zum Kupfer. — Wendet man zu dieſen Verſuch Gold- oder Silberdrähte an, ſo erhält man keinen Strom.

2) Wird der Verſuch ganz unter denſelben Umſtänden angeſtellt, nur mit dem Unterſchiede, daß die Flüſſigkeit in dem Röhrchen Sauerſtoff anſtatt Waſſerſtoff aufgelöſt enthält, ſo erhält man keinen Strom, mögen nun die Verbindungsdrähte von Platin, Gold oder Silber ſeyn.

3) Enthält die Flüſſigkeit im Röhrchen etwas Chlor oder Brom anſtatt Waſſerſtoff aufgelöſt, ſo erhält man einen Strom, welcher von dem weiteren Gefäße in das Röhrchen übergeht, mag man den Verſuch mit Platin-, Gold- oder Silberdrähten anſtellen.

4) Läßt man durch Schwefelſäure haltiges Waſſer, welches ſich in einer Uförmigen Röhre befindet, den Strom einer Säule gehen, ſo liefert dieſe Flüſſigkeit nur in dem Falle einen ſecundären Strom, wenn man die Verbindung mit dem Galvanometer durch Platindrähte herſtellt. Bei Anwendung von Gold- oder Silberdrähten zeigt die Multiplicatornadel nicht die mindeſte Ablenkung.

5) Stellt man den Verſuch wie bei 4. an, nimmt man verdünnte Salzſäure ſtatt der verdünnten Schwefelſäure, ſo erhält man einen ſecundären Strom, auch wenn man zur Schließung Gold- oder Silberdrähte anwendet.

Die Verſuche unter 1., 3. und 5. deuten auch hier darauf hin, daß die Urſache der Polariſation in den Gaſen zu ſuchen ſey, welche im Waſſer aufgelöſt ſind.

Die Fälle, in welchen die mit Gaſen behandelten Flüſſigkeiten keinen Polariſationsſtrom geben (alſo Nr. 2. und 4.), entſprechen ganz den ſchon oben beſprochenen Fällen, daß Metalldrähte oder Platten, welche in Gaſe eingetaucht waren, keinen Polariſationsſtrom hervorzubringen im Stande ſind, alſo den Fällen Nr. 6. und 7. auf Seite 338. — Soll nun der Beweis geliefert werden, daß die an den Metallplatten haftenden Gasſchichten oder die in Flüſſigkeiten aufgelöſten Gaſe die Urſache der galvaniſchen Polariſation ſind, ſo muß noch erklärt werden, warum wohl in dieſen Fällen die Wirkung ausbleibt. Im Weſentlichen iſt Schönbein's Anſicht über dieſen Gegenſtand folgende:

Schönbein's Theorie der galvaniſchen Polariſation. Wenn in 141
eine Flüſſigkeit zwei gleiche Metallplatten eingetaucht ſind, von denen die eine rein, die andere mit einer Gasſchicht überzogen iſt; oder wenn zwei gleiche Metallplatten eingetaucht ſind in die beiden Schenkel einer Uförmigen Röhre, welche mit gleicher Flüſſigkeit angefüllt ſind, nur mit dem einen Unterſchiede, daß in der Flüſſigkeit des einen Schenkels ein Gas aufgelöſt iſt, auf der andern Seite aber nicht, ſo iſt die zwiſchen beiden Seiten ſtattfindende Ungleichheit Grund genug zum Auftreten einer elektriſchen

Spannung. Dieſe elektriſche Spannung kann nun zur Ausgleichung kommen, ſie wird einen elektriſchen Strom veranlaſſen, ſobald eine metalliſche Verbindung zwiſchen beiden Platten hergeſtellt wird. Damit aber ein ſolcher Strom den Multiplicatordraht durchlaufen könne, muß er auch durch die Flüſſigkeit hindurchgehen, welche ohne Elektrolyſe nicht den mindeſten Strom zu leiten im Stande iſt. Das Auftreten des Polariſationsſtromes iſt alſo weſentlich daran gebunden, daß die Elektrolyſe der Flüſſigkeit wirklich ſtattfindet; in allen Fällen nun muß der Strom ausbleiben, in welchen die elektriſche Differenz an den beiden Gränzflächen nicht hinreicht, um die Elektrolyſe einzuleiten.

Iſt z. B. das mit Schwefelſäure angeſäuerte Waſſer auf einer Seite durch eine reine, auf der andern Seite durch eine mit einer Schicht von Waſſerſtoffgas überzogene Gold- oder Silberplatte begränzt, ſo tritt bei metalliſcher Verbindung der beiden Metallplatten kein Strom ein, weil der Waſſerſtoff der einen Goldplatte nicht im Stande iſt, dem nächſten Waſſertheilchen ſeinen Sauerſtoff zu entziehen und dadurch die Elektrolyſe durch die ganze Flüſſigkeitsſchicht einzuleiten; wendet man aber ſtatt der Goldplatten Platin an, ſo leitet das eigenthümliche Verhalten dieſes Metalles zum Waſſerſtoff und Sauerſtoff die Elektrolyſe ein, es veranlaßt, daß der Waſſerſtoff, welcher der Platinplatte zunächſt iſt, den benachbarten Waſſertheilchen ihren Sauerſtoff entzieht und ſo die Zerſetzung und Wiederbildung des Waſſers bis zur andern Platte veranlaßt. So erklärt ſich denn auch, daß der Verſuch Nr. 1., Seite 337, mit Platinplatten gelingt, mit Gold- und Silberplatten aber nicht.

Schönbein hält es nicht für unwahrſcheinlich, daß dieſer Vorgang durch ein Waſſerſtoffſuboxyd vermittelt werde, deſſen Waſſerſtoff ſtärker desoxydirend wirke, als reiner Waſſerſtoff, wie denn auch das dritte Sauerſtoffatom der Superoxyde eine weit größere Verwandtſchaft zu oxydirbaren Körpern zeigt, als reiner Sauerſtoff.

Eine in Chlorgas getauchte Platinplatte, mit einer reinen voltaiſch in verdünnter Schwefelſäure combinirt, liefert einen Strom, weil bei dieſer Combination die Verwandtſchaft des Chlors hinreichend ſtark iſt, um dem nächſten Waſſermolecul ſeinen Waſſerſtoff zu entziehen und Salzſäure zu bilden, wodurch dann die Elektrolyſe des Waſſers auf dem ganzen Wege zur anderen Platte eingeleitet wird. Auch wenn man Gold oder Silberplatten zu dieſem Verſuch anwendet, iſt das Chlor noch im Stande, das Waſſer zu zerlegen, daher auch in dieſem Falle der Strom, welcher natürlich in der Richtung fortſchreitet (der poſitive Strom nämlich), in welcher die Waſſerſtofftheilchen wandern, ſo lange fortdauert, bis das Chlor an der einen Metallplate verſchwunden iſt.

Dieſem ganz analog iſt die Bildung des Stroms beim Verſuch Nr. 3., Seite 341, zu erklären.

Wendet man aber reines Sauerſtoffgas ſtatt des Chlors oder Broms an, ſo befindet ſich daſſelbe in den obigen Combinationen, um mit Schönbein zu reden, noch nicht in einem ſolchen Zuſtande der Erregtheit, daß es die Zerſetzung der nächſten Waſſerpartikelchen veranlaſſen könnte, und daher das Ausbleiben des Stromes bei den Verſuchen Nr. 7. auf Seite 338 und Nr. 2. auf Seite 341.

Wenn aber reines Sauerſtoffgas in dieſen Fällen keinen Polariſationsſtrom erzeugen kann, wie iſt die negative Polariſation einer Platinplatte zu erklären, welche als poſitive Elektrode gedient hat? Auf keinen Fall durch das an ihn ausgeſchiedene Sauerſtoffgas. Neben dem Sauerſtoff tritt aber an der poſitiven Elektrode, wie bereits oben Seite 216 erwähnt wurde, Ozon auf, und daß dieſer merkwürdige Körper Platinplatten negativ zu polariſiren vermag, iſt an der angeführten Stelle bereits erwähnt worden.

Nach Schönbein's Anſicht iſt das Ozon ein Waſſerſtoffſuperoxyd; was dadurch beſonders eine große Stütze erhält, daß die Superoxyde der Metalle ein ganz ähnliches Volta'ſches Verhalten haben. Das dritte Sauerſtoffatom hat eine größere Verwandtſchaft zu oxydirbaren Körpern, als der freie Sauerſtoff, wodurch ſich denn das ſtark elektronegative Verhalten dieſer Körper erklärt.

Hyperoxydketten. Eine mit einem Hyperoxyd, etwa mit Bleihyperoxyd, überzogene Platinplatte verhält ſich elektronegativ gegen eine reine. 142
Taucht man die beiden Platten mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbunden in verdünnte Schwefelſäure, ſo entſteht ein kräftiger Strom von der reinen zu der mit Hyperoxyd überzogenen Platte. Das dritte Atom des Sauerſtoffs im Hyperoxyd entzieht den nächſten Waſſertheilchen ihren Waſſerſtoff und leitet dadurch die Elektrolyſe durch die ganze Flüſſigkeit hiedurch ein.

Um eine Platinplatte mit Bleihyperoxyd zu überziehen, verbindet man ſie mit dem poſitiven Pole einer mehrpaarigen Kette, deren negativer Pol mit einer ähnlichen Platinplatte verbunden iſt. Taucht man nun die beiden Platinplatten in eine Löſung von ſalpeterſaurem Bleioxyd, ſo überzieht ſich die poſitive Polplatte alsbald mit einer Schicht von Bleiſuperoxyd.

Der Strom, welchen eine polariſirte Platinplatte mit einer reinen liefert, iſt natürlich nur ein vorübergehender, er verſchwindet mit der elektromotoriſchen Schicht, welche die eine Platinplatte überzieht. Dieſe Schicht verſchwindet aber nothwendig in Folge der Strombildung.

Betrachten wir z. B. eine mit Waſſerſtoffgas poſitiv polariſirte Platin-

platte; wird dieſe mit einer reinen Platinplatte combinirt, ſo entſteht ein Strom, welcher von der überzogenen zur reinen Platte geht, an der überzogenen wird alſo in Folge des Stroms Sauerſtoffgas ausgeſchieden, welches ſich mit dem Waſſerſtoff verbindet, welcher ſich hier vorfand.

Ebenſo verſchwinden allmälig die Schichten von Chlor, Bleihyperoxyd u. ſ. w., mit denen man Platinplatten negativ polariſirt hat, indem ſich das Chlor oder der Sauerſtoff des Superoxyds mit dem an dieſen Platten durch den Strom ausgeſchiedenen Waſſerſtoffgas verbindet.

Da durch Hyperoxyde polariſirte Platinplatten noch bedeutend ſtärker elektronegativ ſich verhalten als reine Platinplatten, ſo kann man durch Combination von Zink mit Platinplatten, welche mit Bleihyperoxyd überzogen ſind, äußerſt kräftige galvaniſche Ketten conſtruiren.

Der praktiſchen Anwendung ſolcher Ketten ſteht vor der Hand noch der Umſtand entgegen, daß die Schicht von Superoxyd, deren Herſtellung ziemlich umſtändlich iſt, doch gar bald verſchwindet.

Eine Meſſung der elektremotoriſchen Kraft der Hyperoxydketten hat uns Wheatſtone in dem ſchon mehrfach citirten Aufſatze (P. A. LXII. 522.) gegeben. Er fand für die elektromotoriſche Kraft von

1	Zinkamalgam, Kupfervitriol, Kupfer	30	470
2	» verdünnte Schwefelſäure, Kupfer	20	313
3	» Platinchlorid, Platin	40	626
4	» verdünnter Schwefel, Platin	27	423
5	Kaliumamalgan, Kupfervitriol, Kupfer	59	924
6	» Platinchlorid, Platin	69	1081
7	» Zinkvitriol, Zink	29	451
8	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Bleihyperoxyd	68	1065
9	Kaliumamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Bleihyperoxyd	98	1535
10	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Manganhyperoxyd	54	846
11	Kaliumamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Manganhyperoxyd	84	1316

Die erſte Zahlencolumne enthält die Werthe der elektromotoriſchen Kräfte, gemeſſen durch Umgänge des Wheatſtone'ſchen Rheoſtaten; die letzte Columne giebt die Werthe auf chemiſches Maaß reducirt, davon ausgehend, daß die elektromotoriſche Kraft der erſten Combination der der Daniell'ſchen Kette gleich zu ſetzen ſey.

Wir ſehen alſo hier, wie die Combination von amalgamirtem Zink mit Bleihyperoxyd eine weit größere elektromotoriſche Kraft zeigt als amalgamirtes Zink und Platin, wenn auch dafür geſorgt iſt, wie bei Nr. 3, daß keine galvaniſche Polariſation am negativen Metall ſtattfinden kann.

Die Combination Nr. 3 iſt eine der Daniell'ſchen Kette entſpre-

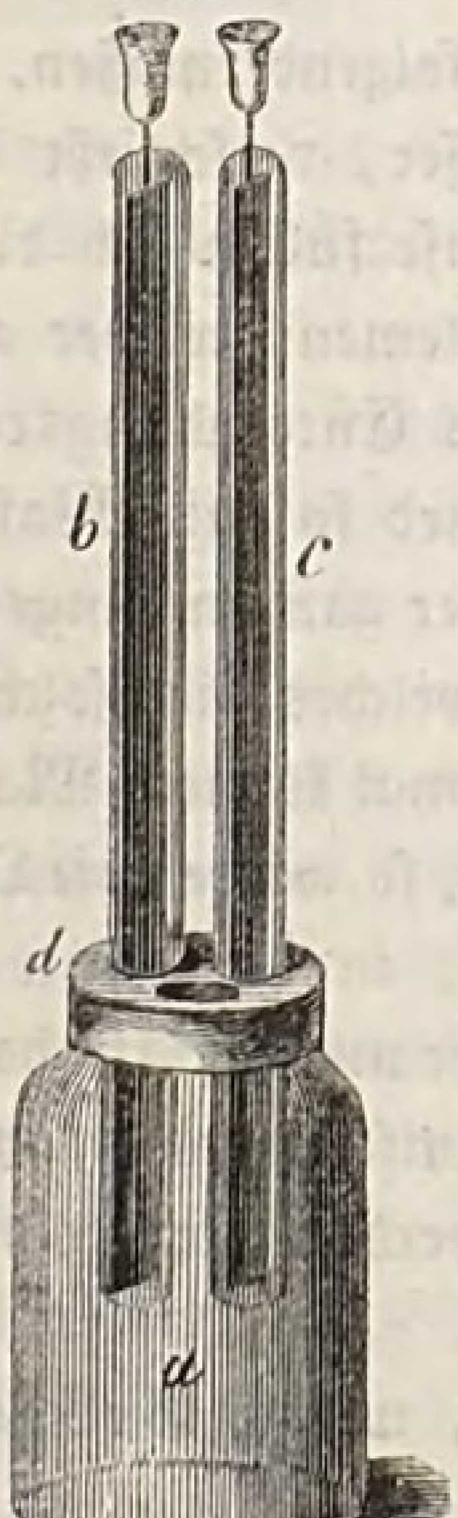
chende Combination von Zink und Platin. Aus der Löſung von Platinchlorid wird auf die Platinplatte in Folge des Stroms metalliſches Platin ausgeſchieden, und dadurch die galvaniſche Polariſation verhindert, gerade ſo wie es bei der *Daniell*'ſchen Kette durch die Kupferfällung geſchieht; wir können alſo den oben mitgetheilten Zahlenwerth für Nr. 3, nämlich 626, als das Maaß der elektriſchen Differenz zwiſchen Zink (amalgamirt) und Platin betrachten.

Vergleichen wir die elektromotoriſche Kraft von Nr. 3 mit der elektromotoriſchen Kraft einer *Grove*'ſchen Kette, ſo ergiebt ſich eine bedeutende Differenz, indem erſtere nur 626, letztere aber 777, nach meinen Meſſungen ſogar 829 beträgt (Seite 283 und 284).

Aus dieſer Differenz glaube ich ſchließen zu können, daß die Salpeterſäure in der *Grove*'ſchen, alſo auch in der *Bunſen*'ſchen Kette, nicht bloß durch Wegnahme des Waſſerſtoffs die Polariſation vernichtend, *ſondern daß ſie auch, in der Weiſe der Hyperoxyde elektromotoriſch wirkt.* Ein Umſtand, welcher dieſe Anſicht noch wahrſcheinlicher macht iſt der, daß die elektromotoriſche Kraft einer Combination von *Manganhyperoxyd* mit Zink (Nr. 10) nicht merklich größer iſt als die der *Grove*'ſchen und *Bunſen*'ſchen Kette.

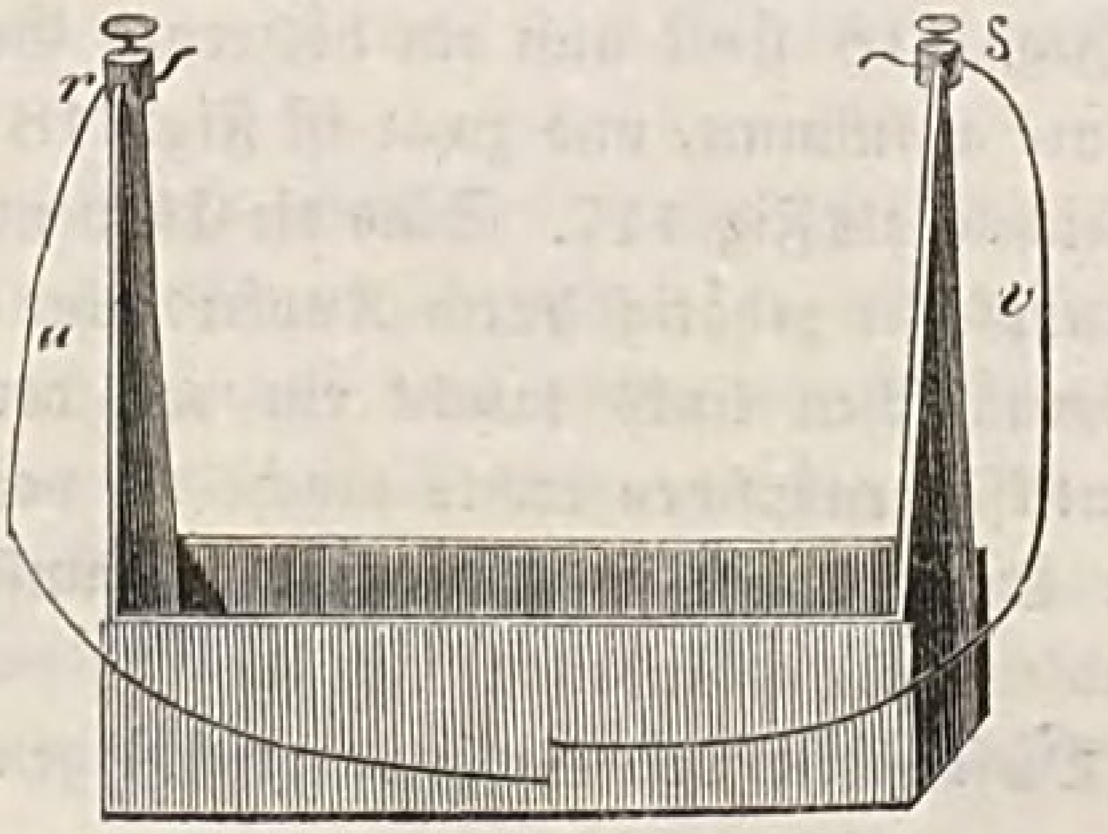
Obige Tabelle zeigt uns auch, wie bedeutend die elektromotoriſche Kraft noch dadurch erhöht werden kann, daß man das elektropoſitive Zinkamalgam durch das noch weit mehr elektropoſitive Kaliumamalgam erſetzt; die Koſtbarkeit des Kaliumamalgams dürfte aber wohl die praktiſche Anwendung ſolcher Ketten unmöglich machen.

Fig. 115



Grove's Gasbatterie. Die *Grove*'ſche *Gasbatterie* iſt bereits in meinem 143
Lehrbuch der Phyſik beſchrieben (3te Aufl. 2ter Band, Seite 201). Die dort mitgetheilte Figur iſt jedoch nur eine ſchematiſche. Aus Fig. 115 und Fig. 116 iſt die Einrichtung einer ſolchen Gasſäule näher zu er-

Fig. 116.



ſehen, welche Herr Profeſſor Schönbein aus England bezogen hat. Fig. 117 ſtellt ein einzelnes Element dar. Auf das Glasgefäß *a* iſt ein gefirnißter Metalldeckel luftdicht aufgekittet. Dieſer Deckel hat drei Oeffnungen; durch zwei derſelben gehen die Glasröhren *b* und *c* luftdicht hindurch, die dritte etwas größere kann durch einen Stöpſel verſchloſſen werden. — Jede der beiden Röhren iſt 30 Centimeter lang und hat 1,8 Centimeter im Durchmeſſer. Am obern Ende einer jeden Röhre iſt ein Platindraht

Fig. 117.

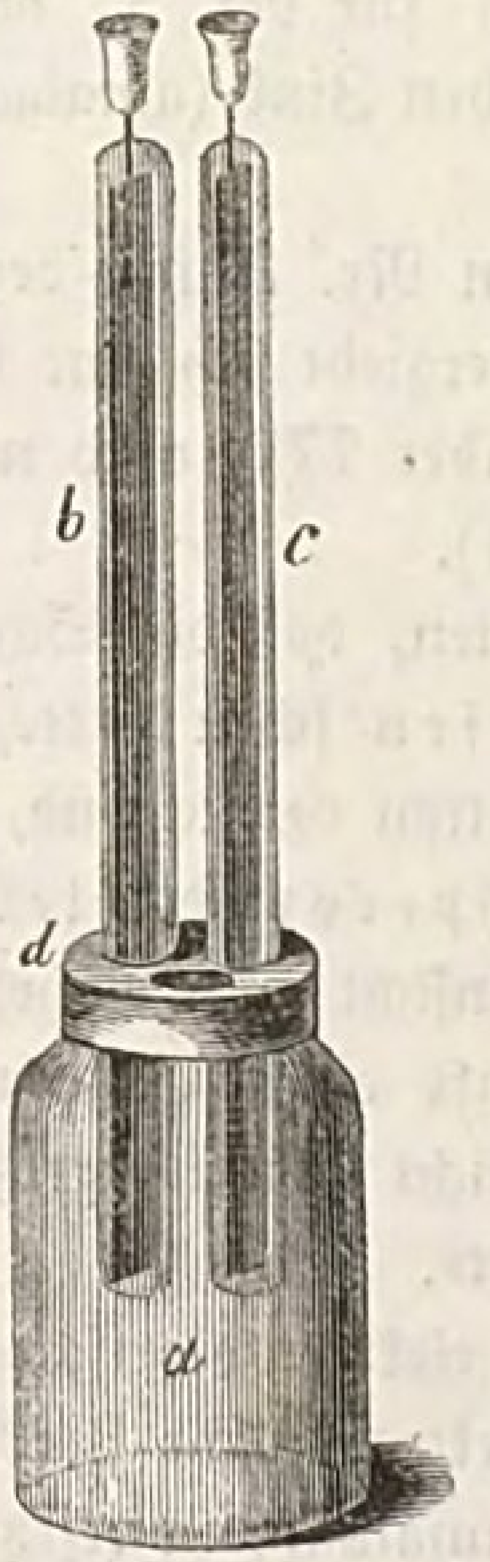
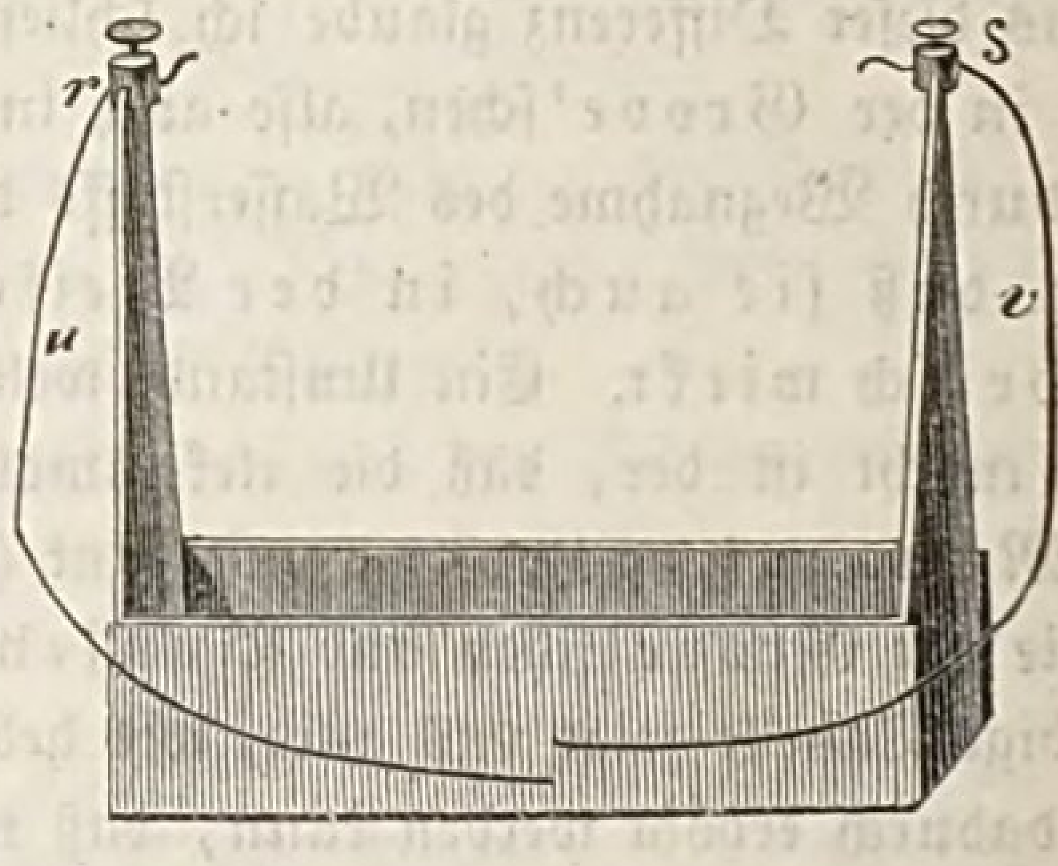


Fig. 118.



eingeſchmolzen, welcher oben ein Queckſilbernäpfchen trägt, und an welcher unten eine platinirte Platinplatte angelöthet iſt, welche faſt bis zum untern Ende der Röhre herabreicht.

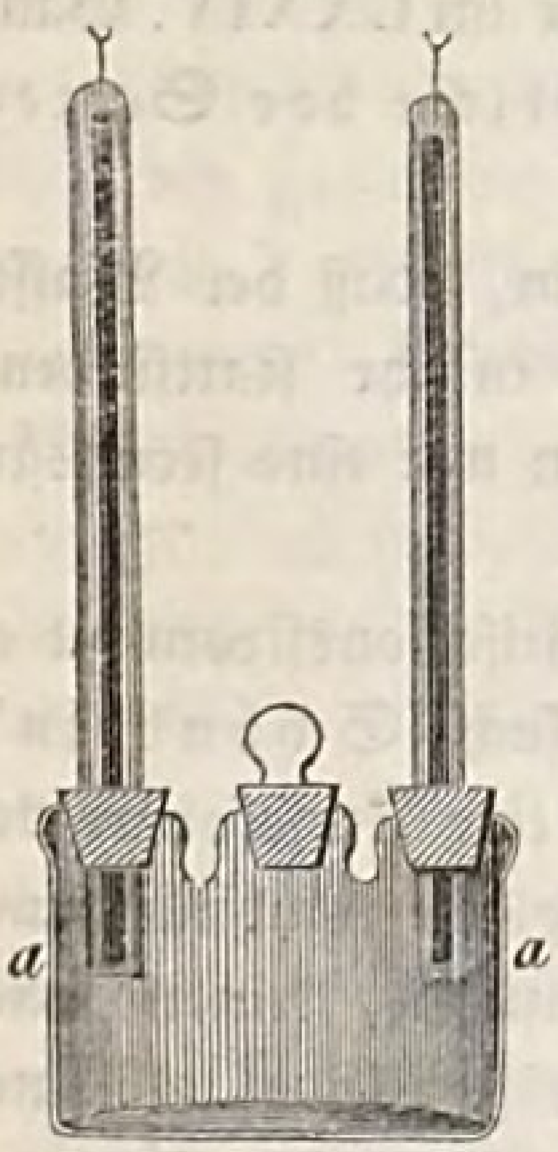
Um ein ſolches Element zu laden, verfährt man folgendermaßen. Man füllt durch die Oeffnung *d* das Gefäß *a* mit Waſſer, verſchließt *d*, und kehrt dann den ganzen Apparat um; auf dieſe Weiſe füllen ſich die Röhren *b* und *c* mit Waſſer. Nachdem man das Element wieder aufrecht geſtellt hat, führt man durch die Oeffnung *d* das Entbindungsrohr des Gasentwicklungsapparates ein. Das eine Rohr wird ſo mit Waſſerſtoffgas, das andere mit Sauerſtoffgas etwa bis auf $^3/_4$ der ganzen Länge gefüllt.

Fig. 118 ſtellt nun ein hölzernes Geſtell vor, welches vier ſolcher Elemente aufnimmt, und zwar iſt Fig. 118 in einem 4mal kleinern Maaßſtabe gezeichnet als Fig. 117. Sind die Elemente eingeſtellt, ſo werden die Queckſilbernäpfchen gehörig durch Kupferdrähte verbunden; in das letzte Queckſilbernäpfchen links taucht ein von der Klemmſchraube *r*, in das letzte Queckſilbernäpfchen rechts taucht ein von der Klemmſchraube *s* ausgehender Draht. — In die beiden Klemmſchrauben werden die Poldrähte *u* und *v* eingeſchraubt.

Dieſe Form der Gasſäule iſt faſt genau dieſelbe, welche Grove in der

Nachſchrift zu einem Aufſatze: »Ueber die Volta'ſche Gasbatterie, Verſuche, um die Urſache ihrer Wirkung und ihre Anwendung auf Eudiometrie zu ermitteln (Phil. Trans. 1843 Pt II. pag. 51 in der Ueberſetzung in Poggendorff's Annalen im Ergänzungsband II, 1848) als die zweckmäßigſte beſchreibt; nur iſt dort noch die Einrichtung getroffen, daß man die beiden Gasröhren auch aus dem untern Theil des Apparates herausnehmen und die Gaſe unterſuchen kann. Für dieſen Zweck dürfen die beiden Röhren *b* und *c* nicht ein für allemal in dem Deckel des Gefäßes *a* eingekittet, ſondern ſie müſſen in Stöpſeln befeſtigt ſeyn, mittelſt deren man ſie in den Deckel des Gefäßes *a* einſetzen und ausheben kann. In Fig. 119 iſt die Zeichnung wiedergegeben, welche Grove an dem angeführten Orte mittheilt. Das Gefäß *aa* iſt ein Glasgefäß von der Art der Woulfe'ſchen Flaſchen; die mittlere Oeffnung iſt durch einen Glasſtöpſel geſchloſſen; die Glasröhren werden mittelſt angeſchmolzener und auswärts abgeſchliffener Glaskragen in die beiden andern Oeffnungen eingeſetzt.

Fig. 119.



Theorie der Gasſäule. Was die Theorie der 144
Gasſäule betrifft, ſo ſpricht ſich Grove dahin aus: »es ſey dieſer Batterie eigen, daß ihr Strom durch Gaſe, und zwar eine Syntheſe von gleicher aber umgekehrter Art, ſowohl an der Anode als an der Kathode erregt wird.« Damit iſt nun freilich keine klare Vorſtellung von dem Vorgang in der Gasſäule gegeben; noch dunkler iſt die Ausdrucksweiſe Grove's an allen übrigen Stellen ſeiner Aufſätze, wo er ſich auf theoretiſche Betrachtungen über dieſen Gegenſtand einläßt. Es iſt jedoch wahrſcheinlich, daß der Berichterſtatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp, S. 281« wirklich Grove's Anſicht in präciſerer Form wiedergiebt, wenn er ſagt: »Grove leite die elektromotoriſche Kraft der Gasſäule von dem chemiſch elektriſchen Gegenſatze des Waſſerſtoffs und Sauerſtoffs ab.

Eine Stelle des letztern Grove'ſchen Aufſatzes deutet allerdings darauf hin, daß ihm dieſe Vorſtellungsweiſe vorgeſchwebt habe, wo er ſagt: »Will man die Grotthus'ſche Theorie auf die Gasbatterie übertragen, ſo kann man annehmen, es werde, wenn die Batterie geſchloſſen iſt, in der Sauerſtoffröhre an jedem Punkte, wo ſich Sauerſtoff, Waſſer und Platin berühren, ein Waſſerſtofftheilchen das mit ihm verbundene Sauerſtofftheilchen verlaſſen, um ſich mit einem Theilchen des freien Gaſes zu

vereinigen; der dadurch ausgeſchiedene Sauerſtoff werde ſich mit dem Waſſerſtoff des anliegenden Waſſertheilchens verbinden und ſo fort, bis das letzte Sauerſtofftheilchen ſich mit einem Theilchen freien Waſſerſtoffs vereinigt ꝛc.« Allein Grove ſagt bald darauf: »Ich erwähne dieſe Hypotheſe nicht, als wenn ich ihr buchſtäblich anhinge, ſondern weil ſie die allgemein angenommene iſt.«

Gegen die Grove'ſche Theorie der Gasſäule iſt nun Schönbein aufgetreten, und theilweiſe mag dieſe Controverſe in der erwähnten Unklarheit ihren Grund haben, mit der Grove ſeine theoretiſchen Anſichten ausſpricht Schönbein hat ſeine Anſichten über die Gasſäule in zwei Aufſätzen auseinander geſetzt, welche ſich in Poggendorff's Annalen finden, der erſtere im LVIII. Bande Seite 361 führt den Titel »Ueber die Sauerſtoff- und Waſſerſtoffſäule,« der zweite im LXXIV. Band. Seite 241 iſt überſchrieben: »Ueber die Rolle, welche der Sauerſtoff in der Grove'ſchen Gasſäule ſpielt.«

Schönbein's Anſicht über die Gasſäule geht dahin, »daß der Waſſerſtoff in der erwähnten Vorrichtung mit Bezug auf die in ihr ſtattfindende Stromerzeugung eine primitive, der Sauerſtoff dagegen nur eine ſecundäre, d. h. depolariſirende Rolle ſpielt.«

Allerdings vermag der Waſſerſtoff allein einen Polariſationsſtrom zu erzeugen, wie uns die auf Seite 338 angeführten Verſuche Schönbein's beweiſen; eine Platinplatte, welche eine kurze Zeit in eine Atmoſphäre von Waſſerſtoff getaucht war, giebt mit einer reinen Platinplatte combinirt einen Strom, ſelbſt wenn die Flüſſigkeit, in welche ſie eintauchen, keinen freien Sauerſtoff enthält; es iſt alſo klar, daß eine Grove'ſche Gasſäule einen Strom liefern muß, wenn die eine Hälfte der Röhren ganz mit geſäuertem Waſſer gefüllt iſt, während die andere Hälfte derſelben Waſſerſtoff enthält, ſelbſt wenn aus der Flüſſigkeit vorher aller freie Sauerſtoff ausgetrieben worden und der Zutritt der atmoſphäriſchen Luft abgeſperrt iſt.

Dieſer Strom nun hört freilich bald auf, weil in Folge deſſelben ſich Waſſerſtoff an den bisher nicht mit Gas in Berührung ſtehenden Platinplatten ablagert, alſo die Differenz aufhört, welche die Strombildung veranlaßte.

Soll der Strom dauernd ſeyn, ſo muß der in Folge des Stroms auf der andern Seite ausgeſchiedene Waſſerſtoff alsbald wieder weggeſchafft werden, und dies iſt nach Schönbein's Anſicht die Function, welche der Sauerſtoff in der Gasſäule zu verrichten hat.

Schönbein's Meinung geht alſo dahin, der Sauerſtoff wirke in der Gasſäule nicht elektromotoriſch, ſondern nur depolariſirend; er ſtützt ſich dabei auf die Beobachtung, deren Glaubwürdigkeit der Berichterſtatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp,« wohl mit Unrecht in Zweifel zieht,

daß reiner Sauerſtoff eine Platinplatte nicht in der Weiſe zu polariſiren vermöge, wie Waſſerſtoff, wie wir dies auf Seite 338 geſehen haben.

Die Oben ermittelten Zahlenwerthe für die Polariſation der Platinplatten in verſchiedenen Gaſen macht es möglich, die Frage in ganz präciſe Ausdrücke zu faſſen.

Die Geſammtpolariſation in einem Voltameter iſt im Maximum ungefähr 1200; die Hälfte dieſer Polariſation kommt auf die negative mit Waſſerſtoff bekleidete, die andere Hälfte auf die poſitive mit ozonhaltigem Sauerſtoff bekleidete Platinplatte; nun iſt die Frage: iſt die elektromotoriſche Kraft eines Elementes der Grove'ſchen Gasſäule gleich 1200; oder iſt ſie nach Schönbein's Anſicht nur 600?

Obgleich eine mit reinem Sauerſtoff bekleidete Platinplatte, mit einer andern in geſäuertem Waſſer combinirt, keinen Strom erregt, ſo findet doch jedenfalls auch hier eine elektriſche Differenz Statt, wenn ſie auch nicht hinreicht, die Zerſetzung der zwiſchenliegenden Waſſerſchicht einzuleiten, es iſt deshalb auch wahrſcheinlich, daß die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Gaselementes, geladen mit Waſſerſtoff und reinem Sauerſtoff, größer iſt als 600, wenn ſie gleich den Werth 1200 nicht erreicht, welcher der Fall entſpricht, daß man mit ozonhaltigem Sauerſtoff zu thun hat.

Auf den erſten Anblick erſcheint wohl nichts leichter, als dieſe Frage durch einen directen Verſuch, nämlich durch Meſſung der elektromotoriſchen Kraft der Gasſäule, zu entſcheiden, doch zeigt eine nährere Prüfung, daß hier von der Meſſung der elektromotoriſchen Kraft keine Rede ſeyn kann. — Die Platinplatten der Gasſäule ſind nämlich durchaus nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach ſo mit Gaſen bekleidet, ſondern nur theilweiſe; wir haben alſo hier denſelben Fall, als ob man in ein mit geſäuertem Waſſer gefülltes Gefäß zwei außerhalb der Flüſſigkeit metalliſch verbundene Platinplatten eintauchte, von denen die eine an mehreren Stellen mit Zink bedeckt iſt. Wenn man die verſchiedenen Methoden zur Beſtimmung der elektromotoriſchen Kraft auf den Strom anwendet, welcher hier den die beiden Platinplatten verbindenden Draht durchläuft, ſo wird man (ganz abgeſehen von der Polariſation, welche an der reinen Platinplatte auftritt) gewiß nicht den wahren Werth der elektriſchen Differenz zwiſchen Zink und Platin erhalten. Wegen der nur partiellen Bekleidung der Platinplatten mit Gas bilden ſich Seitenentladungen, ſo daß der Strom, welcher den Schließungsdraht durchläuft, nur ein Theil des durch die elektriſchen Gegenſätze in der Kette hervorgebrachten Effects iſt, daher denn auch zum Theil die außerordentlich geringe Stromſtärke der Gasſäule.

Wirkungen der Gasſäule. Mit einer Gasbatterie von 50 Ele- 145
menten erhielt Grove folgende Wirkungen:

1) Einen Schlag, den fünf ſich anfaſſende Perſonen noch fühlen konnten.

2) An einen mäßig empfindlichen Galvanometer brachte der Strom eine bleibende Ablenkung von 60° hervor.

3) Bedeutende Divirgenz eines Goldblattelektroſkops.

4) Zwiſchen Kohlenſpitzen einen hellen, bei vollem Tageslicht ſichtbaren Funken.

5) Elektrolytiſche Zerſetzung von Jodkalium und geſäuertem Waſſer.

Um eine merkliche Waſſerzerſetzung hervorzubringen, reichen vier Zellen der oben beſchriebenen Einrichtung hin. Eine einzige Zelle zerſetzt Jodkalium.

Zehn Elemente dieſer Art mit verdünnter Schwefelſäure vom ſpeciſiſchen Gewicht 1,2 und abwechſelnd mit Waſſerſtoff und Sauerſtoff gefüllt, wurden mit einem eingeſchalteten Voltameter zur Batterie geſchloſſen und 36 Stunden ſtehen gelaſſen. Am Ende dieſer Zeit waren 2,1 Kubikzoll Knallgas im Voltameter entwickelt worden; in jeder der Waſſerſtoffröhren war 1,5 Kubikzoll, in jeder der Sauerſtoffröhren war 0,7 Kubikzoll, zuſammen alſo 2,2 Gas verſchwunden. Die Differenz (2,2 gegen 2,1) rührt wohl daher, daß eine ſchwache Abſorption des Sauerſtoffs durch das Waſſer ſtattfindet.

Wenn ein merklicher Strom ſtattfinden ſoll, ſo dürfen die platinirten Platinplatten nicht ganz unter den Waſſerſpiegel untertauchen, ſondern ſie müſſen begreiflicherweiſe theilweiſe aus der Flüſſigkeit hervor-, und in die Gasatmoſphäre hineinragen.

Eine Batterie, deren Röhren abwechſelnd mit Waſſerſtoff und verdünnter Salpeterſäure geladen waren, gab einen Strom, und zwar reichten drei Paare hin, um in einem eingeſchalteten Voltameter Waſſer zu zerſetzen.

Einen ſehr kräftigen Strom giebt die Gasſäule, wenn man den Sauerſtoff durch Chlor erſetzt. Eine Chlorwaſſerſtoffſäule von zwei Elementen reicht hin, um Waſſer zwiſchen Platinplatten zu zerſetzen.

Aehnlich wie Waſſerſtoff verhält ſich Kohlenoxydgas in der Gasſäule.

Andere Gaſe, z. B. Stickgas, verhalten ſich abſulut wirkungslos in der Gasbatterie. Bringt man z. B. in eine Röhre ein Gemenge von Stickſtoff und Sauerſtoff, in die andere Waſſerſtoffgas, ſo wird nach Schließung der Kette aller Sauerſtoff der einen Röhre allmälig vollſtändig verzehrt, während der Stickſtoff derſelben zurückbleibt. Darauf gründet ſich der Vorſchlag Grove's, die Gasſäule zu eudiometriſchen Verſuchen anzuwenden.

In einem zweiten Aufſatz, welcher ſich im zweiten Ergänzungsbande von Poggendorff's Annalen findet (Seite 407), beſchreibt Grove folgende merkwürdige Verſuche.

Die eine Röhre eines Gasſäulenelementes wurde mit Sauerſtoff geladen, in die andere aber wurde mittelſt eines kleinen auf einem Glasſtiel befeſtigten Glastrichterchen, wie es in Fig. 120. dargeſtellt iſt, ein gewogenes Stückchen Phosphor gebracht, und dann die Röhre zum Theil mit Stickſtoff gefüllt. Der Apparat, durch einen Galvanometer geſchloſſen,

zeigte einen Strom an. Nach viermonatlicher Schließung, während welcher das Galvanometer immer einen Strom anzeigte, war das Waſſer in der Sauerſtoffröhre um 1 Kubikzoll geſtiegen, in der Stickſtoffröhre aber gar nicht; dagegen war das Phosphorſtückchen um 0,4 Gran leichter geworden.

Fig. 120.

Dies Reſultat iſt leicht zu erklären, in der Atmoſphäre von Stickſtoff verbreiten ſich Phosphordämpfe und dieſe verhalten ſich denn gerade, wie der Waſſerſtoff in der gewöhnlichen Gasbatterie.

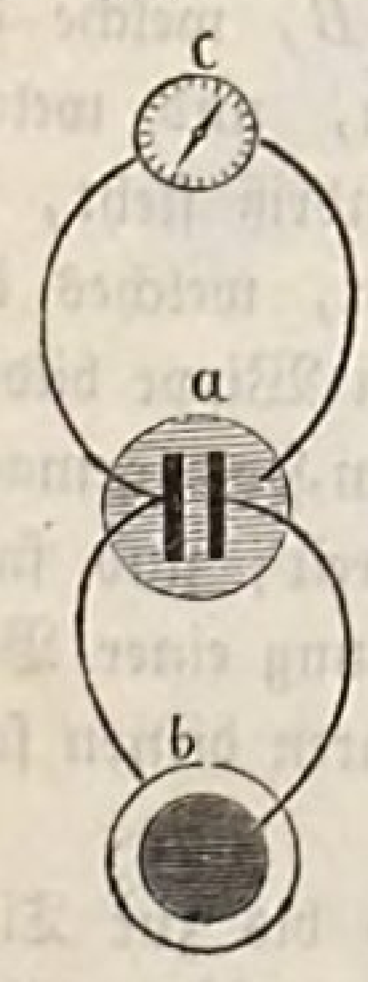
Schwefel anſtatt Phosphor gab keine Wirkung, als aber der Schwefel dadurch zum Schmelzen gebracht wurde, daß man einen heißen Metallring an der Stelle, an welcher ſich gerade das Trichterchen befand, um die Gasröhre hielt, gab das Galvanometer augenblicklich einen Ausſchlag.

Die beiden Röhren der Gasbatterie wurden mit Stickſtoff geladen, die eine aber mit Phosphor, die andere mit Jod verſehen. Nach der Schließung zeigte ſich ein entſchiedener Strom, welcher Monate lang anhielt.

Das Stickgas änderte ſein Volum nicht, die Flüſſigkeit färbte ſich aber allmälig. Hier wirkt der Joddampf wie Sauerſtoff, der Phosphordampf wie Waſſerſtoff.

Poggendorff's Wippe. Es iſt bekannt, daß, wenn man zwei 146
homogene Platten, etwa zwei Platinplatten, welche in verdünnter Säure eintauchen, mit den Polen auch nur eines Volta'ſchen Elementes verbindet, die galvaniſche Polariſation, welche dieſelben erfahren, hinreichend ſtark iſt, um einen Strom in entgegengeſetzter Richtung hervorzubringen, wenn man ſie leitend verbindet, nachdem man den primitiven Strom unterbrochen hat. Es ſey z. B. in Fig. 121. *a* ein Voltameter, *b* ein galvaniſches Element, welches ſeinen Strom durch das Voltameter ſendet; unterbricht man nun dieſen Strom, verbindet man alsdann die Drahtenden eines Multiplicators *c* mit den beiden Platten, ſo zeigt dieſes den Polariſationsſtrom an, welcher jedoch bald wieder aufhört.

Fig. 121.



Auf dieſe Weiſe können ganze Reihen von Platten polariſirt werden, und ſo erhält man die Ritter'ſche Ladungsſäule, zu deren Ladung man jedoch ſtets eine primitive Säule von vielen Plattenpaaren anwandte; die elektromotoriſche Kraft, welche den ſecundären Strom der Ladungsſäule in Bewegung ſetzte, iſt aber begreiflicher Weiſe ſtets kleiner als die elektromotoriſche Kraft der ladenden primitiven Säule.

Poggendorff hat nun eine Vorrichtung erſonnen, um mit einer ein-

fachen Volta'ſchen Kette eine ſecundäre Säule von beliebig vielen Plattenpaaren zu laden und ſo einen Strom von viel größerer elektromotoriſcher Kraft als die der ladenden Kette zu erhalten (P. A. LX. 568.).

Das Verfahren iſt folgendes. Geſetzt, man habe eine Reihe von Platinplatten paarweiſe in Zellen geſetzt, die mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt ſind, wie dies in Fig 122. angedeutet iſt. Die Platten 1 und 2 ſind in der erſten, 3 und 4 in der zweiten Zelle u. ſ. w. — Werden nun die Platten 1, 3, 5 und 7 mit dem poſitiven Pol der einfachen Kette verbunden, die Platten 2, 4, 6 und 8 aber mit dem negativen, ſo werden die mit ungeraden Zahlen bezeichneten Platten eine negative Polariſation erfahren (indem ſich an ihnen Sauerſtoffgas ablagert), die mit geraden Zahlen bezeichneten Platten aber werden poſitiv polariſirt (durch Waſſerſtoffgas).

Nachdem nun dieſe Verbindung nur ganz kurze Zeit beſtanden hat, wird ſie raſch aufgehoben und nunmehr die geladenen Platten nach dem Princip der Säule verbunden und durch ein Voltameter geſchloſſen, welches jetzt von einem Strom von viel größerer Spannung durchlaufen wird als der primitive war, weil ſich ja in dieſer Combination die elektromotoriſche Kraft aller polariſirten Plattenpaare ſummirt.

Zu dieſem Zweck müſſen die Platten 1 und 8 mit den Voltameterdrähten in leitende Verbindung gebracht, während 2 und 3, 4 und 5, 6 und 7 durch Metalldrähte verbunden werden.

Poggendorff hat nun einen Apparat, die Wippe genannt, erſonnen, um dieſe Ladungen und Entladungen in raſcher Aufeinanderfolge bewerkſtelligen zu können. Folgendes iſt die Einrichtung dieſes Inſtrumentes.

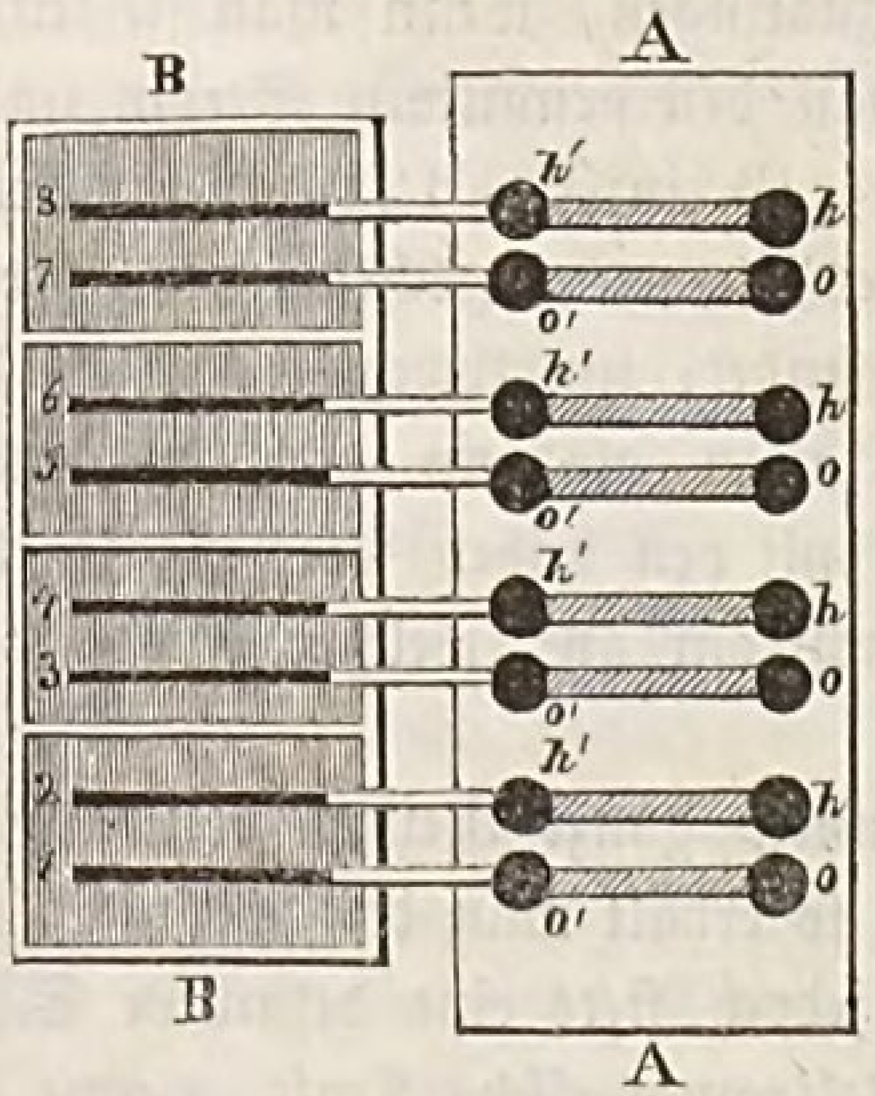


Fig. 122.

Neben den Zellen *B B*, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 122. im Grundriß ſieht, iſt ein Brett *AA* angebracht, welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es iſt von hartem, dichtem Holz, gemacht 1 Zoll dick, $3\frac{3}{4}$ Zoll breit, und falls das Inſtrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen ſoll, ungefähr 6 Zoll lang.

In dieſes Brett ſind bis zur Tiefe von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll zwei Löcherreihen *h o* und *h' o'* eingebohrt, welche paarweiſe durch Kupferdrähte die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen ſind, oder auch durch Eiſenſtäbe die in das Brett eingelaſſen ſind, verbunden werden, wie es in unſern Figuren gezeichnet iſt. Die Löcher werden mit Queckſilber gefüllt.

Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach o', die Platte 1 iſt alſo mit dem vorderſten o' und o in leitender Verbindung, ebenſo die Platte 2 mit den beiden folgenden Queckſilbernäpfchen h' und h u. ſ. w.

Damit die Verbindungsdrähte möglichſt kurz ſeyen, hat man die Unterlage AA durch ein Statif oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten, und dieſen recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu ſtehen, welche mit der Unterlage in Fig. 123 in etwas größerem Maaßſtab perſpectiviſch, und in Fig. 124 im Durchſchnitt dargeſtellt iſt.

Fig. 123.

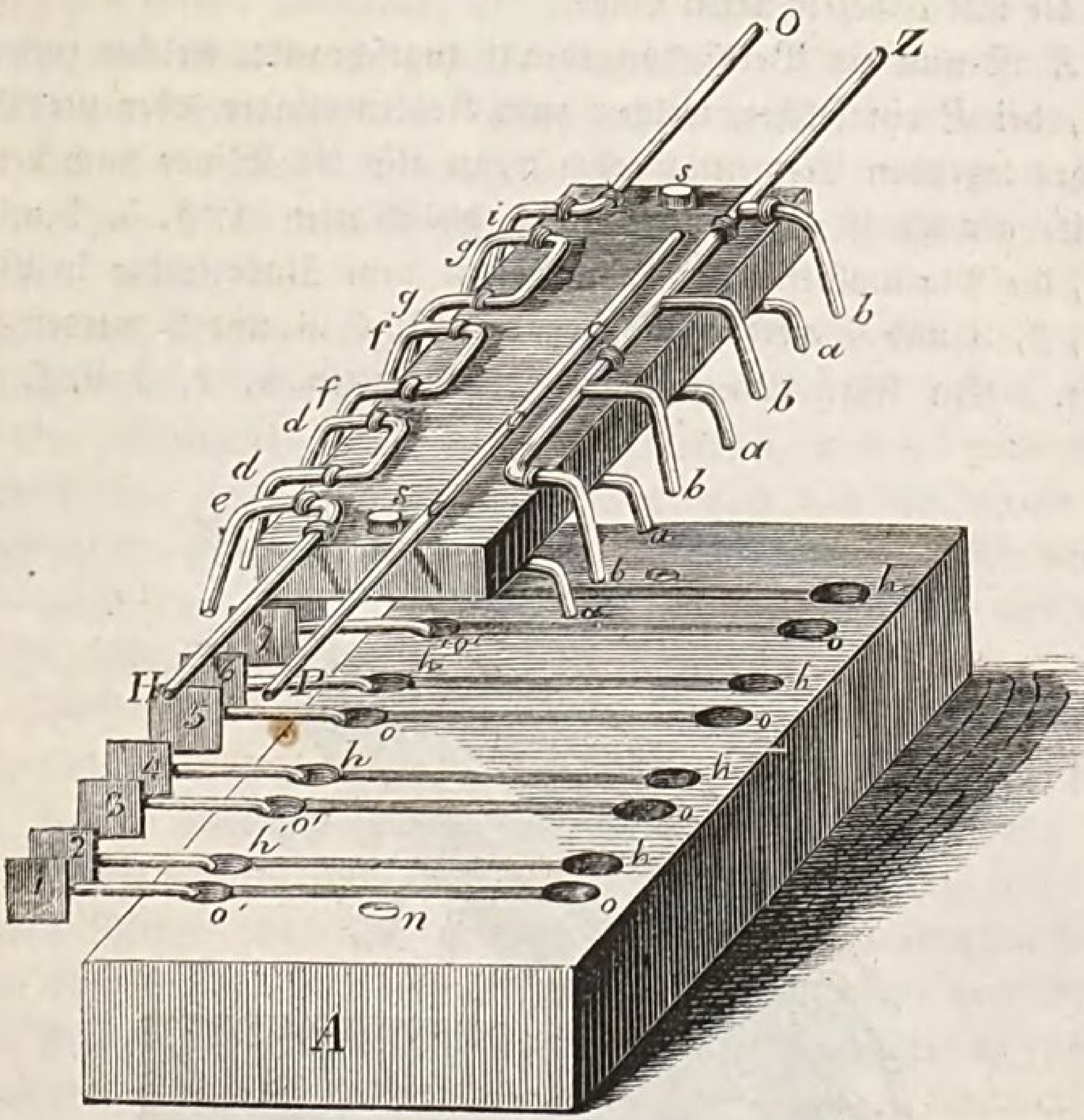
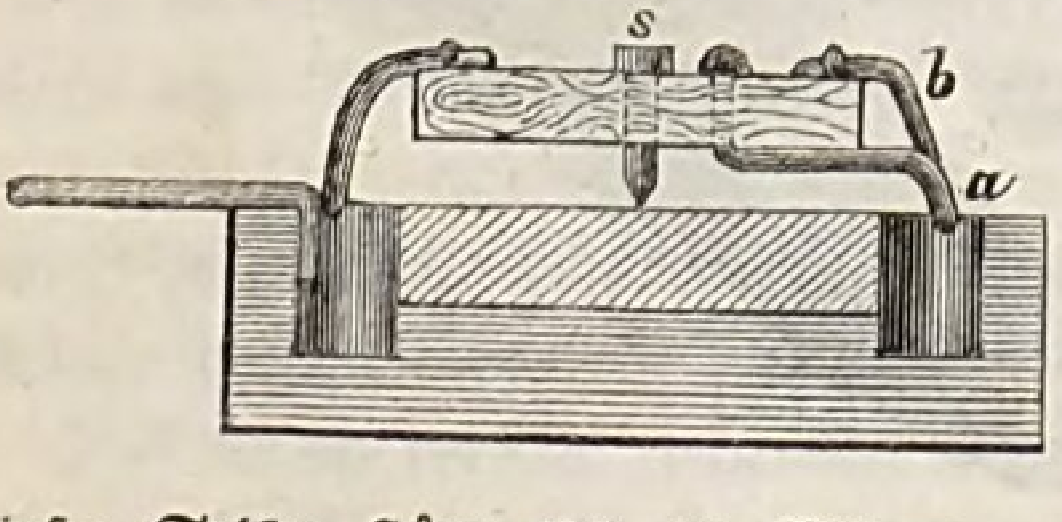


Fig. 124.



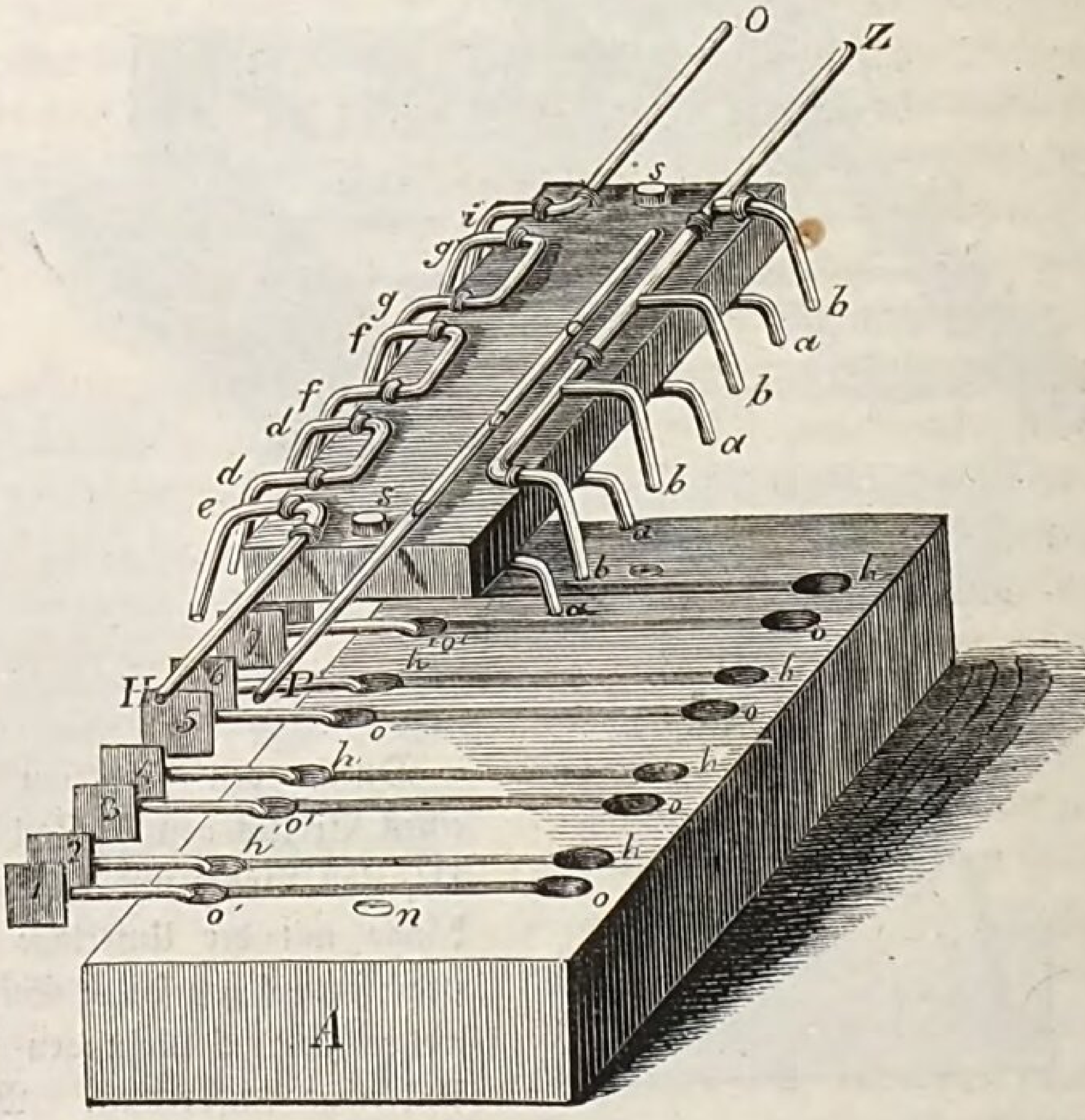
Durch den mittleren Theil eines Brettes von $1/3$ Zoll Dicke, $1 1/2$ Zoll Breite und faſt gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei ſtumpf zugeſpitzte Stifte ss, welche zwei Vertiefungen in der Unterlage entſprechen. Mittelſt dieſer Stifte ſtützt ſich die Wippe auf die Unterlage in der Weiſe, daß ſie

entweder nach der einen oder nach der andern Seite neigt, ſo daß die an dem Brett befindlichen Haken entweder in die Queckſilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Dieſe Haken ſind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite iſt die Hälfte aller Haken, nämlich die mit *b* bezeichneten an einem nach Hinten verlängerten und dort mit *Z* bezeichneten Kupferdraht befeſtigt; die mit *a* bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und da mit *P* bezeichneten Kupferdraht. Iſt nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, ſo tauchen die mit *a* bezeichneten Haken in die mit *o* bezeichneten Löcher, die mit *b* bezeichneten Haken tauchen aber in die mit *h* bezeichneten Löcher.

Bei *Z* iſt nun ein Verbindungsdraht angeſchraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei *P* ein ſolcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Elementes geht; wenn alſo die Wippe nach der rechten Seite geneigt iſt, ſo ſind dadurch die Platten 1, 3, 5, 7 mit dem Kohlen-, die Platinplatten 2, 4, 6, 8 mit dem Zinkcylinder in Verbindung, 1, 3, 5 und 7 werden alſo negativ; 2, 4, 6 und 8 werden poſitiv polariſirt. (In Fig. 125 ſind die Platinplatten 1, 2, 3 u. ſ. w., zu

Fig. 125.



welchen die Kupferdrähte führen, welche aus den Löchern o' und h' nach der Linken gehen, nur ſchematiſch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet ſich nun ein anderes Hakenſyſtem. Der vorderſte e iſt nach vorne (nach H) gebogen, der hinterſte i nach Hinten (nach O). Die beiden mit d bezeichneten Haken ſind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenſo die beiden mit f und die beiden mit g bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, ſo treten die Haken a und b aus dem Queckſilber der Näpfchen heraus, die Haken c, d, f, g und i aber tauchen in die Näpfchen o' und h' ein. Durch die Haken d werden die Platten 2 und 3, durch f 4 und 5, durch g 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, alſo die Platinplatten nach dem Syſtem der Säule combinirt. Bei H nun iſt der eine Enddraht des Voltameters, bei O der andere angeſchraubt, ſobald alſo die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und dieſe Säule gleichzeitig durch das Voltameter geſchloſſen.

Der durchs Voltameter gehende Strom der Ladungsſäule iſt ein raſch vorübergehender; neigt man die Wippe wieder nach der rechten Seite, ſo findet eine abermalige Ladung der Platinplatten, und bei einer Neigung nach der Linken eine abermalige Entladung durch das Voltameter Statt.

Was die Vorſichtsmaßregeln betrifft, die man bei der Conſtruction und dem Gebrauche der Wippe zu beobachten hat, ſo müſſen wir auf die Originalabhandlung verweiſen (P. A. LXI. 586).

Um den Proceß des Ladens und Entladens zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin- und her zu bewegen, was leicht mit dem Finger 2- bis 300mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf dieſe Weiſe zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange wirkenden Strom, den man zu verſchiedenen Zwecken benutzen kann. — Poggendorff's Säule beſtand aus 4 Plattenpaaren von $2\frac{1}{2}$ Quadratzoll Fläche auf jeder Seite; als primäre Kette brauchte er ein Grove'ſches Element.

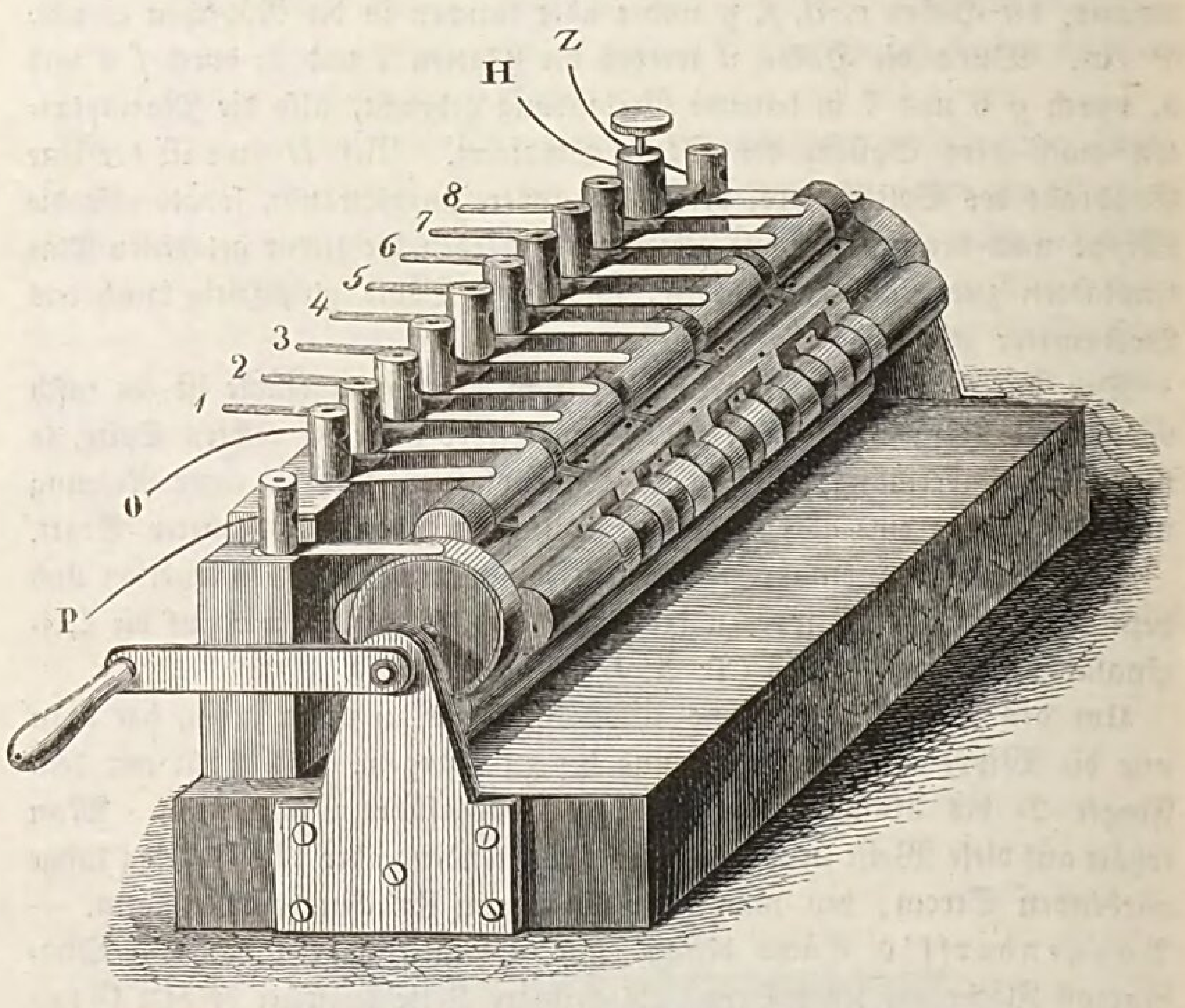
Die Herſtellung galvaniſcher Verbindungen mittelſt Queckſilber führt mehrerlei Unannehmlichkeiten mit ſich, weshalb man in neuerer Zeit vielfach bemüht war, ſie durch andere Vorrichtungen zu erſetzen; ſo hat man die Queckſilbernäpfchen durch Schraubklemmen erſetzt, man hat Commutatoren ohne Queckſilber conſtruirt u. ſ. w. Deshalb erſchien es mir denn auch wünſchenswerth, die Poggendorff'ſche Wippe durch einen Apparat zu erſetzen, welcher den gleichen Zweck ohne Queckſilber erfüllt. Ich ſchlage dazu die in Fig. 126 (a. f. S.) abgebildete Vorrichtung vor.

Auf einem vertikal ſtehenden Brette auf der linken Seite unſerer Figur iſt eine Reihe von Meſſingpfeilern angebracht, welche zum Einſchrauben

von Metalldråhten dienen; der Schraubenkopf, welcher zum Feſtklemmen der Dråhte dient, iſt jedoch nur bei der vorletzten gezeichnet; alle übrigen Pfeiler müſſen mit eben ſolchen Schrauben verſehen ſeyn. — Alle dieſe Meſſingpfeiler ſtehen auf Metallfedern, welche auf einer drehbaren Walze ſchleifen; der erſte und der letzte Pfeiler ſtehen etwas tiefer als die andern.

Auf den beiden Enden der Walze ſitzen Kupferringe. Auf dem vor-

Fig. 126.



deren Kupferring ſchleift die Feder des erſten Pfeilers (deſſen eingeklemmter Draht nach P führt), auf den hinteren Kupferring ſchleift die Feder des letzten Pfeilers (deſſen Draht nach Z geht).

Dieſe Dråhte führen zur Platinplatte und zur Zinkplatte des ladenden Elementes.

In den erſten und letzten der höher liegenden Pfeiler ſind die Dråhte O und H eingeſchraubt, welche zu den Platinplatten des Voltameters führen.

Die Dråhte 1, 2, 3, . . . 8, welche in den übrigen Pfeilern eingeklemmt ſind, führen zu den Platinplatten der ſecundåren Såule.

Auf der drehbaren Holzwalze ſitzen nun, immer um 90° abſtehend, 4

halbkreisförmige Holzleiſten, welche theilweiſe mit Streifen von Kupferblech überzogen ſind; auf dieſen ſchleifen dann während der Drehung abwechſelnd die Federn der höher gelegenen Pfeiler.

Auf der Leiſte, welche in der Zeichnung gerade nach Oben ſteht, und auf welcher die Federn jetzt gerade liegen, ſind die Kupferbügel ſo angebracht, daß 1 mit *O*, 2 mit 3, 4 mit 5, 6 mit 7 und 8 mit *H* in leitender Verbindung iſt; eben ſind alſo die Platinplatten 1 bis 8 nach dem Princip der Säule combinirt, und durch das Voltameter geſchloſſen.

Die eben nach Unten gerichtete Holzleiſte hat gleiche Einrichtung mit der nach Oben ſtehenden.

Ebenſo haben die beiden diametral einander gegenüberſtehenden Wulſte, welche eben auf der rechten und linken Seite der Walze ſich befinden, gleiche Einrichtung und zwar ſo, daß wenn dieſe mit den Metallfedern in Berührung kommen, daß alsdann die Platten 2, 4, 6 und 8 mit dem Kohlencylinder, 1, 3, 5 und 7 mit dem Zinkcylinder des ladenden Elementes leitend verbunden ſind.

Des leichteren Ausdrucks wegen wollen wir die Wulſte, welche eben in der Zeichnung Oben und Unten ſtehen, die Entladungswulſte, die beiden andern die Ladungswulſte nennen.

Die Einrichtung der Ladungswulſte iſt folgende. Ueber den Holzwulſt ſind 8 Kupferbügel ſo gelegt, daß ſie mit den 8 Federn in Berührung kommen, welche den 8 Platinplatten entſprechen. Die eine Hälfte dieſer Bügel (in unſerer Figur von vorn an gezählt die 2te, 4te, 6te und 8te) ſind mit einem Kupferſtreifen verbunden, welcher zu dem vorderen Kupferring der Walze, alſo nach *P* führt. Auf dieſelbe Weiſe iſt die andere Hälfte der Kupferbügel (alſo 1, 3, 5 und 7) mit einem ähnlichen Kupferſtreifen verbunden, welcher, auf der andern Seite des Holzwulſtes liegend, in unſerer Figur nicht ſichtbar iſt, und welcher zum hintern Kupferring der Walze, alſo nach *Z* führt; die Bügel 1, 3, 5 und 7 ſind alſo mit dem Zinkcylinder, 2, 4, 6 und 8 ſind mit dem Kohlencylinder des ladenden Elements in Verbindung, wenn der Ladungswulſt oben iſt.

Die Walze wird mittelſt der Kurbel umgedreht; bei jeder Umdrehung erfolgt eine zweimalige Ladung und eine zweimalige Entladung der ſecundären Säule.

Die zweckmäßigſten Dimenſionen der Walze ſind 12 Centimeter Länge (für eine Säule von 4 Plattenpaaren) und (ohne die Wulſte) $2\frac{1}{2}$ bis 3 Centimeter Durchmeſſer.

Durch ein Grove'ſches Element wird bekanntlich das Waſſer nur höchſt unbedeutend zerſetzt; es bekleiden ſich die Voltameterplatten zwar mit Gasbläschen, aber nur ſehr wenige ſteigen auf. Benutzt man aber durch Vermittlung der Wippe die einfache Kette zur Ladung der ſecun-

dären Säule, in deren Schließungsbogen daſſelbe Voltameter eingeſchaltet iſt, ſo erhält man, ſobald die Wippe in Bewegung geſetzt wird, eine lebhafte Waſſerzerſetzung, zum augenfälligen Beweis, daß die elektromotoriſche Kraft des ſecundären Stroms beträchtlich ſtärker iſt als die des primären.

Mit einem Voltameter, deſſen Platten auf jeder Seite ungefähr 3 Quadratzoll Fläche dem mit Schwefelſäure verſetzten Waſſer darboten, erhielt Poggendorff 5 bis 6 Kubikcentimeter Knallgas in der Minute, wenn in dieſer Zeit die Wippe etwa 80mal hin- und herging.

Der mittelſt der Wippe erhaltene ſecundäre Strom beſitzt eine elektromotoriſche Kraft, welche die des primären Stroms der einfachen Kette um ſo mehr übertrifft, je mehr Plattenpaare die ſecundäre Säule hat; dagegen iſt der chemiſche Geſammteffect, welchen der ſecundäre Strom im Voltameter hervorbringt, doch nur $\frac{1}{n}$ (wenn die ſecundäre Säule aus n Plattenpaaren beſteht) von demjenigen, welchen der primäre Strom zuvor in jeder einzelnen Zelle zur Ladung der Platten hervorgebracht hatte; denn während ſich bei dem oben angeführten Verſuche Poggendorff's im Voltameter 6 C.C. Knallgas ſammelten, mußten ſich in jeder der vier Zellen der Ladungsſäule 6 C.C. dieſer Gaſe zu Waſſer vereinigen, und dieſe Gasmenge war vorher durch die Wirkung der primären Kette aus dem Waſſer entbunden worden; in der Minute müßten alſo durch die Wirkung der primären Kette in den 4 Zellen zuſammen das Waſſer zu $6 \times 4 = 24$ Kubikcentimetern Gas elektrolyſirt worden ſeyn, damit im Voltameter 6 Kubikcentimeter frei werden können.

Ohne die Wippe würde freilich durch die directe Wirkung der einfachen Kette in den 4 Zellen (welche in dieſer Combination ein großes Plattenpaar darſtellen) noch nicht einmal 0,1 Kubikcentimeter Gas entbunden worden ſeyn, weil das Gas, welches im erſten Momente des Stromdurchgangs auftritt, ſogleich eine Polariſation der Platten bewirkt, in Folge deren nur ein äußerſt ſchwacher Strom noch circuliren kann; durch die Wippe wird aber dieſe Polariſation ſogleich wieder weggenommen und dadurch wieder eine ungeſchwächte Wirkung der ladenden Zelle möglich.

Die Platinplatten, aus denen Poggendorff ſeine ſecundäre Säule zuſammenſetzte, waren platinirt, d. h. mit Platinmohr überzogen (ſiehe Seite 280). Wenn der ſecundäre Strom einigermaßen kräftig ſeyn ſoll, ſo iſt dies durchaus nöthig; wenigſtens müſſen die negativen Platten der ſecundären Säule, d. h. diejenigen platinirt ſeyn, an denen der primitive Strom Sauerſtoff ausgeſchieden hat, und denen der ſecundäre Strom Waſſerſtoffgas zuführt. Der Einfluß des Platinirens geht aus folgenden, von Poggendorff angeſtellten Verſuchen hervor.

In fünf Minuten lieferte eine Säule von zwei Paaren Platinplatten mit einem kleinen Grove'ſchen Elemente und der Wippe verbunden folgende Gasmenge:

1) Alle Platten blank . . . . . etwas über 1 C.C.
3) die poſitiven Platten platinirt 1,5
4) die negativen Platten platinirt . . . . . 13 bis 14
3) alle Platten platinirt . . . . 13 bis 14.

Die poſitiven Platten ſind diejenigen, an denen der urſprüngliche Strom Waſſerſtoffgas ausgeſchieden hat.

Dies rührt nicht daher, daß die platinirten Platten ſtärker polariſirt wurden, denn in der That werden ſie weniger ſtark polariſirt als blanke, ſondern nach Poggendorff's Meinung beſteht die Wirkung des Platinmohrs darin, daß er die Verbindung des an ihm durch den primären Strom ausgeſchiedenen Sauerſtoffs mit dem in Folge des ſecundären Stromes hier nascirenden Waſſerſtoff begünſtigt. Gegen die Art und Weiſe, wie Poggendorff dieſe Anſicht ausſpricht und zu begründen ſucht, ließe ſich wohl mancherlei einwenden, was zu beſprechen jedoch hier nicht der Ort ſein dürfte.

Mit Erfolg hat Poggendorff Platten von Bunſen'ſcher Kohle zur Conſtruction der ſecundären Säule angewandt. Eine Batterie von 2 Paaren ſolcher Blätter 1 Zoll breit und 1,5 Zoll tief, in verdünnte Säure getaucht, gaben im Voltameter in 5 Minuten 8 Cubikcentimeter Knallgas.

Der Polariſationsſtrom, welcher eine ſolche ſecundäre Säule mittelſt der Wippe liefert, iſt bedeutend ſtärker als der einer Grove'ſchen Gasſäule. In einer Minute liefert der intermittirende Strom einer ſecundären Säule von zwei Plattenpaaren mittelſt der Wippe $^{14}/_{5} = 2{,}8$ C.C. Knallgas, während der continuirliche Strom einer Gasſäule von 10 Zellen in 36 Stunden nur 2,1 Kubikzoll, alſo in der Minute ungefähr nur 0,016 Cubikcentimeter Knallgas liefert.

Aeltere Beobachtungen über das Verhalten des Eiſens zur Salpeterſäure. Taucht man einen Eiſendraht in Salpeterſäure, deren 147 ſpecifiſches Gewicht 1,4 iſt, ſo bräunt er ſich augenblicklich, während rothe Dämpfe mit mehr oder minder ſtarkem Aufbrauſen entweichen. Dies hört aber bald wieder auf, das Eiſen nimmt ſeinen Metallglanz wieder an, und behält ihn ſo lange es in der Säure bleibt, ohne daß ein weiteres Angreifen ſtattfindet. — Einmal in dieſen Zuſtand der chemiſchen Unthätigkeit verſetzt, bleibt ein ſolcher Draht aber auch in noch verdünnterer Säure, die dieſen Zuſtand für ſich nicht hätte hervorrufen können, unthätig.

Dieſes merkwürdige Verhalten des Eiſens gegen Salpeterſäure wurde

bereits im vorigen Jahrhundert von James Keir beobachtet und bekannt gemacht (Phil. Trans. für 1790), doch ſtanden dieſe Erſcheinungen damals zu iſolirt da, als daß es möglich geweſen wäre ihre wahre Natur zu ermitteln, und ſo geriethen denn Keir's Beobachtungen in Vergeſſenheit.

Erſt nach 37 Jahren machte Wetzlar ähnliche Erfahrungen, die er in Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Phyſik Bd. 49, S. 470, Bd. 50, S. 88 und 129, Bd. 56, S. 206 publicirte. In England nahm Herrſchel dieſen Gegenſtand wieder auf (P. A. XXXII. 211) und Fechner beobachtete ähnliche Erſcheinungen bei der Einwirkung von ſalpeterſaurem Silber auf Eiſen. Am eifrigſten hat Schönbein dieſen Gegenſtand verfolgt, und ihm gehört vor Allen das Verdienſt, den Kreis der hierher gehörigen Phänomene durch ſeine Arbeiten am meiſten erweitert zu haben.

Weil Schönbein die Erſcheinungen der Paſſivität des Eiſens (eine Bezeichnung, die durch ihn in die Wiſſenſchaft eingeführt wurde) am vollſtändigſten in ihren verſchiedenen Beziehungen verfolgt hat, dürfte es wohl am zweckmäßigſten ſeyn, ſich, was die Kenntniß der Thatſachen betrifft, vorzugsweiſe an ſeine Abhandlungen zu halten, aus denen ich das Weſentlichſte hier möglichſt überſichtlich zuſammen ſtellen will. Der geehrte Naturforſcher möge mir nicht verüblen, wenn ich hier die Bemerkung nicht unterdrücken kann, daß durch eine eigenthümlich diffuſe Darſtellungsweiſe, welche in dieſem Aufſatze herrſcht, dem Leſer die Orientirung ſehr erſchwert wird.

148 **Schönbein's Beobachtungen über die Paſſivität des Eiſens.** Die erſte Abhandlung Schönbein's, welche hierher gehört, findet ſich in Poggendorff's Annalen (XXXVII. 390).

Es iſt eine längſt bekannte Thatſache, beginnt Schönbein, daß möglichſt waſſerfreie Salpeterſäure mehrere Metalle nicht angreift, während dieſelben von einer mehr waſſerhaltigen Salpeterſäure mit Heftigkeit oxydirt werden; hierher gehört unter andern Zinn, vor allen aber das Eiſen.

Vollkommen roſtfreie Eiſen-Feilſpäne werden mit Salpeterſäure von 1,5 ſpec. Gew. übergoſſen, von der Säure nicht angegriffen. — Läßt man in die über den Feilſpänen ſtehenden Säure ſo viel Waſſer tropfen, daß ſie einen Verdünnungsgrad erhält, bei welchem ſie friſche Eiſenfeile raſch angreifen würde, ſo bleiben die vorher mit der concentrirten Salpeterſäure behandelten Feilſpäne völlig paſſiv.

Ein gleiches Verhalten zeigen Feilſpäne, wenn ſie zuerſt mit Säure von 1,5 angefeuchtet und dann mit verdünnter Säure übergoſſen werden.

Die Behandlung mit concentrirter Salpeterſäure iſt es jedoch nicht

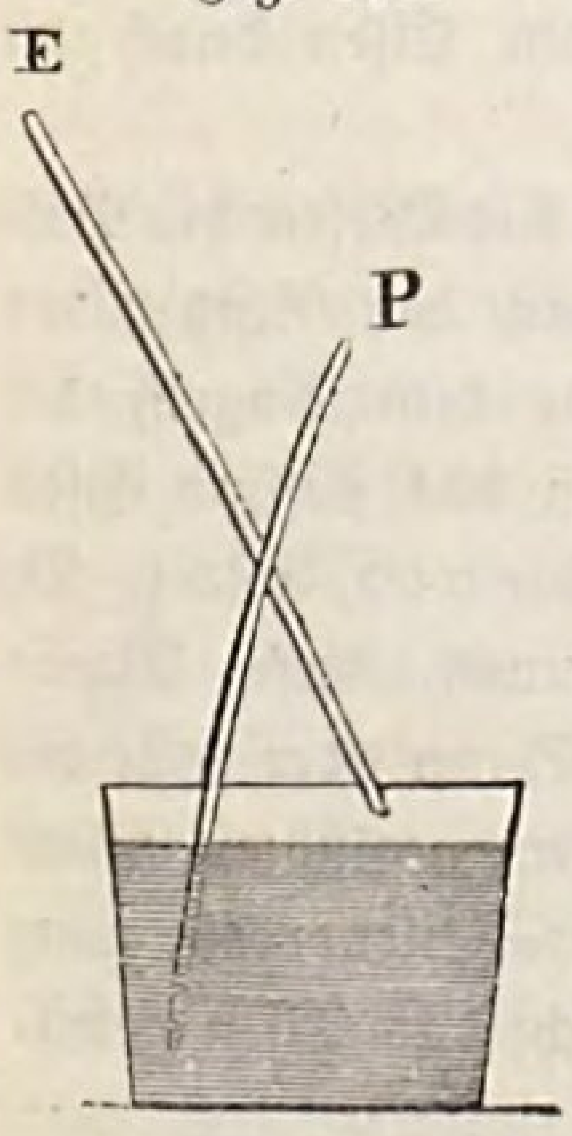
allein, welche das Eiſen paſſiv macht. Eiſenfeile, nur einige Secunden über der Weingeiſtlampe erhitzt, werden weder von concentrirter, noch von verdünnter Salpeterſäure angegriffen.

Dieſe Verſuche laſſen ſich mit Eiſendrähten noch bequemer anſtellen. Ein Eiſendraht, in Salpeterſäure von 1,5 ſpecifiſchem Gewicht eingetaucht, wird paſſiv; ebenſo dadurch, daß man ihn in einer Weingeiſtflamme bis zum Anlaufen erhitzt. Man kann den ſo paſſiv gemachten Draht in verdünntere Säure tauchen, ohne daß er angegriffen wird, während ein gewöhnlicher Eiſendraht eine ſtürmiſche Gasentwicklung veranlaßt. Die Verdünnung der Säure darf nicht über eine gewiſſe Gränze hinausgehen, welche bis jetzt noch nicht beſtimmt iſt; nur ſo viel hat Schönbein ausgemittelt, daß Salpeterſäure von 1,36 ſpec. Gew. mit den 15 und mehrfachen Volumen Waſſer verdünnt, geglühte Eiſendrähte ebenſo angreift, wie gewöhnliche.

Bringt man einen Eiſendraht in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew., ſo wird er mit ſtürmiſcher Heftigkeit angegriffen; nimmt man den Draht nach etwa einer Secunde wieder aus der Säure heraus, hält man ihn einige Augenblicke in der Luft und taucht ihn dann abermals in die Flüſſigkeit ein, ſo wird die Wirkung der Säure auf das Eiſen ſchon merklich ſchwächer ſeyn; nach drei bis viermaligem Eintauchen und Herausnehmen tritt eine ziemlich langſame Action ein, und bei der fünften, ſpäteſtens bei der ſechsten Eintauchung erfolgt abſolute chemiſche Indifferenz des Eiſendrahtes, welche an dem vollkommen metalliſch glänzenden Zuſtande der Oberfläche des in die Säure tauchenden Drahtendes erkannt wird, der überhaupt das in Salpeterſäure paſſiv gemachte Eiſen charakteriſirt.

Aus den eben mitgetheilten Thatſachen ergiebt ſich noch keinerlei Beziehung zwiſchen der Paſſivität des Eiſens zu ſeinen elektriſchen Eigenſchaften; daß aber ſolche Beziehungen ſtattfinden, ergiebt ſich aber zunächſt aus folgender Methode, das Eiſen paſſiv zu machen.

Fig. 127.

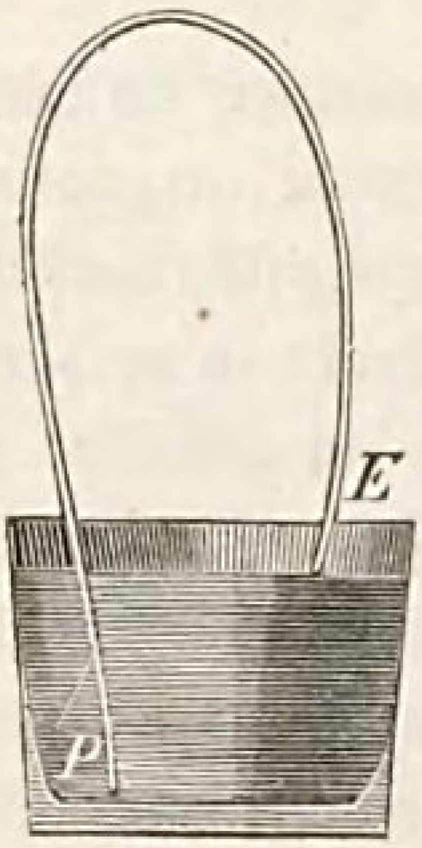


Taucht man in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. zuerſt einen Platindraht *P*, Fig. 127, berührt man denſelben mit einem wohl gereinigten Eiſendraht, ſo wird derſelbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüſſigkeit eintaucht, während er außerhalb fortwährend mit dem Platindraht in Berührung bleibt, obgleich derſelbe Draht für ſich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird.

Taucht man ſtatt des Platindrahtes das geglühte und dadurch paſſiv gemachte Ende eines Eiſendrahtes in die Flüſſigkeit, ſo kann dieſer vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Verſuch übernehmen.

Fig. 128. ſtellt eine Variation dieſes Verſuchs dar. Das geglühte und dadurch paſſiv gemachte Ende eines Eiſendrahts werde in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, ſo wird auch das ungeglühte Ende E beim Eintauchen in die Flüſſigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende E in die Flüſſigkeit eintaucht, ohne daß ſich das geglühte Ende P ſchon darin befindet.

Fig. 128.



Es muß hier noch beigefügt werden, daß die erwähnten Erſcheinungen der Paſſivität nicht mehr eintreten, wenn die Temperatur der Säure bis auf 80° geſteigert wird, und daß ſie ſich überhaupt um ſo ſchwieriger zeigen, je mehr die Säure ſich dieſem Wärmegrade nähert.

Hat man den Draht E, Fig. 127 in die Flüſſigkeit eingeſchoben, während er außerhalb mit P in Berührung blieb, ſo kann man nun P ganz entfernen, ohne daß der Draht E ſeine Paſſivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weiſe paſſiv gemachten Drahte E die Paſſivität auf einen weitern gewöhnlichen Eiſendraht in derſelben Weiſe übertragen, wie man ſie von P und E übertrug.

Fig. 129.

Der in Fig. 129 ſchematiſch dargeſtellte Verſuch iſt für die Theorie der Paſſivität von beſonderer Wichtigkeit. An dem einen Drahtende eines Galvanometers befeſtige man einen geglühten Eiſendraht, an dem andern einen gewöhnlichen Eiſendraht. Taucht man nun zuerſt den paſſiven und dann den andern Eiſendraht in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. ſo zeigt das Galvanometer einen *alsbald wieder vorübergehenden Strom* in der Richtung vom Eiſen durch die Flüſſigkeit zum Platin an.

Dieſe Verſuche laſſen uns ſchon einen tiefen Blick in das Weſen der Paſſivität des Eiſens thun. Zunächſt iſt klar, daß die durch das Glühen des Eiſendrahtes gebildete Oxydulſchicht den Eiſendraht vor dem Angriff der Säure ſchützt, und dadurch iſt die Idee nahe gelegt, daß das paſſive Eiſen ſelbſt in ſolchen Fällen, wo eine ſolche Schicht nicht ſichtbar wird, wie z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpeterſäure, dennoch dieſe Eigenſchaft einer dünnen Oxydulſchicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umſtand, daß man den Platindraht, Fig. 127, mit einem geglühten Eiſendraht vertauſchen kann, daß das durch Glühen gebildete Eiſenoxydul ganz wie Platin functionirt, daß durch eine ſolche Oxydulſchicht das Eiſen gewiſſermaßen eine negative galvaniſche Polariſation erleidet.

Alle paſſiven Eiſendrähte werden in heißer Säure wieder in active ver-

wandelt. Es zeigt ſich jedoch in der Leichtigkeit, mit welcher die Drähte ihren paſſiven Zuſtand mit dem activen vertauſchen, ein beträchtlicher Unterſchied zwiſchen denen, welche durch Glühen paſſiv gemacht ſind, und ſolchen, welche dadurch paſſiv gemacht wurden, daß ſie, einen ſchon paſſiven Draht berührend, in die Flüſſigkeit eingetaucht wurden. Wir wollen erſtere *urſprünglich paſſive*, letztere dagegen *ſecundäre paſſive* nennen. Die urſprünglich paſſiven zeigen wohl nur darum eine größere Beſtändigkeit ihrer Paſſivität, weil ſie durch eine dickere Schicht geſchützt ſind.

Alles was die ſchützende Hülle vernichtet, macht den Draht wieder activ.

Verhalten eiſerner Elektroden. In dem Fig. 127 dargeſtellten 149
Verſuch bildet E offenbar den poſitiven Pol einer *einfachen* Kette, es ließ ſich alſo erwarten, daß man Eiſen auch dadurch paſſiv machen kann, daß man es als + Pol einer *Volta'ſchen Säule* in eine Säure taucht, die ihn an und für ſich angreifen würde.

Schönbein hat den Verſuch wirklich angeſtellt (P. A. XXXVII. 391). An dem + Pol einer aus 15 nicht conſtanten Zinkkupferelementen beſtehenden Säule (einige Becher einer conſtanten Batterie reichen zu dieſem Verſuche ebenfalls aus) war ein Eiſendraht befeſtigt, während der negative Pol dieſer Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächſt wurde der negative Platindraht in ein Gefäß mit Salpeterſäure von 1,36 ſpec. Gew. eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des durch den Eiſendraht gebildeten + Pol in dieſelbe Säure geſchloſſen, wie Fig. 130 andeutet; es zeigte ſich dieſer Eiſendraht vollkommen paſſiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weiſe angegriffen, und beſaß nach Abtrennung von der Säule dieſelben Eigenſchaften, wie ein durch Glühen paſſiv gemachter Draht.

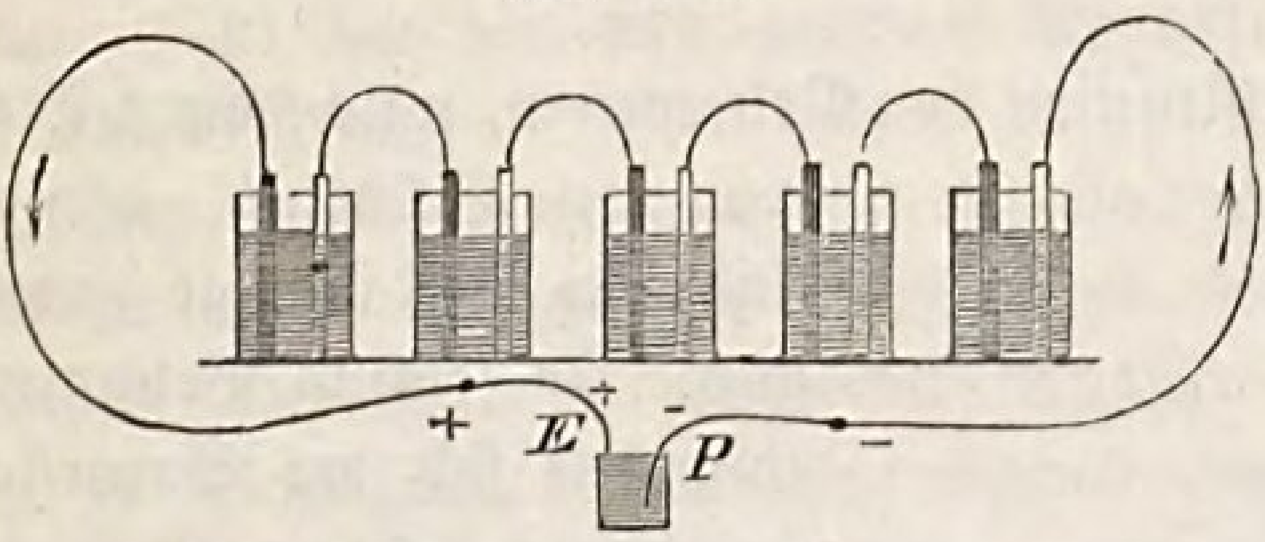


Fig. 130.

Bleibt der paſſive Eiſendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, ſo zeigt ſich die merkwürdige Erſcheinung, daß der in Folge der Elektrolyſe an demſelben ausgeſchiedene Sauerſtoff ſich nicht etwa mit dem Eiſen verbindet, ſondern frei an demſelben aufſteigt, gerade ſo, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydſchicht alſo, welche ſich unter den erwähnten Umſtänden gleich beim Eintauchen des Eiſendrahtes in die Flüſſigkeit bildet, ſchützt ihn alſo vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieſes Verſuchs iſt keineswegs Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gewicht nöthig, man kann dieſelbe noch über ihr 100faches Volumen mit Waſſer verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüſſigkeit

eingetauchte eiſerne + Pol der Säule paſſiv werden, immer noch wird an demſelben ausgeſchiedener Sauerſtoff frei als Gas aufſteigen.

Ganz ähnliche Erſcheinungen finden Statt, wenn anſtatt verdünnter Salpeterſäure verdünnte Schwefelſäure oder Phosphorſäure angewendet wird. Soll in dieſer Säure der Sauerſtoff am poſitiven Eiſendraht ſich frei entwickeln, ſo muß ebenfalls erſt der negative Pol der Säule zuerſt in die Flüſſigkeit eintauchen, und dann erſt der mit dem poſitiven Pol verbundene Eiſendraht in dieſelbe eingeführt werden.

Taucht man den poſitiven eiſernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, ſo wird er angegriffen; eben ſo wenig wird der Eiſendraht paſſiv, wenn man ihn abgetrennt vom poſitiven Pol der Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieſelbe eingeführt ſeyn oder nicht. Kurz, wenn das Eiſen paſſiv werden ſoll, ſo darf es der chemiſchen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung ausgeſetzt ſeyn.

Wendet man ſtatt der verdünnten Säure in dieſem Verſuch die wäſſerige Löſung einer Sauerſtoffverbindung an, welche nicht merklich chemiſch auf das Eiſen einwirkt, wie Löſungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, ſo wird das Eiſen immer paſſiv, wie man auch die Kette ſchließen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder Salpeterlöſung wird das mit dem poſitiven Pole verbundene Eiſen ſtets paſſiv, man mag nun den negativen oder poſitiven Pol zuerſt in die Flüſſigkeit tauchen. (P. A. XXXVIII. 492).

Darauf gründet ſich die Conſtruction von Voltametern, welche durch Platten von Eiſenblech gebildet ſind, die in Kalilauge eintauchen. In ſolchem Voltameter entwickelt ſich der Sauerſtoff frei an der poſitiven Polpatte, ohne das Eiſen anzugreifen.

Fig. 131.

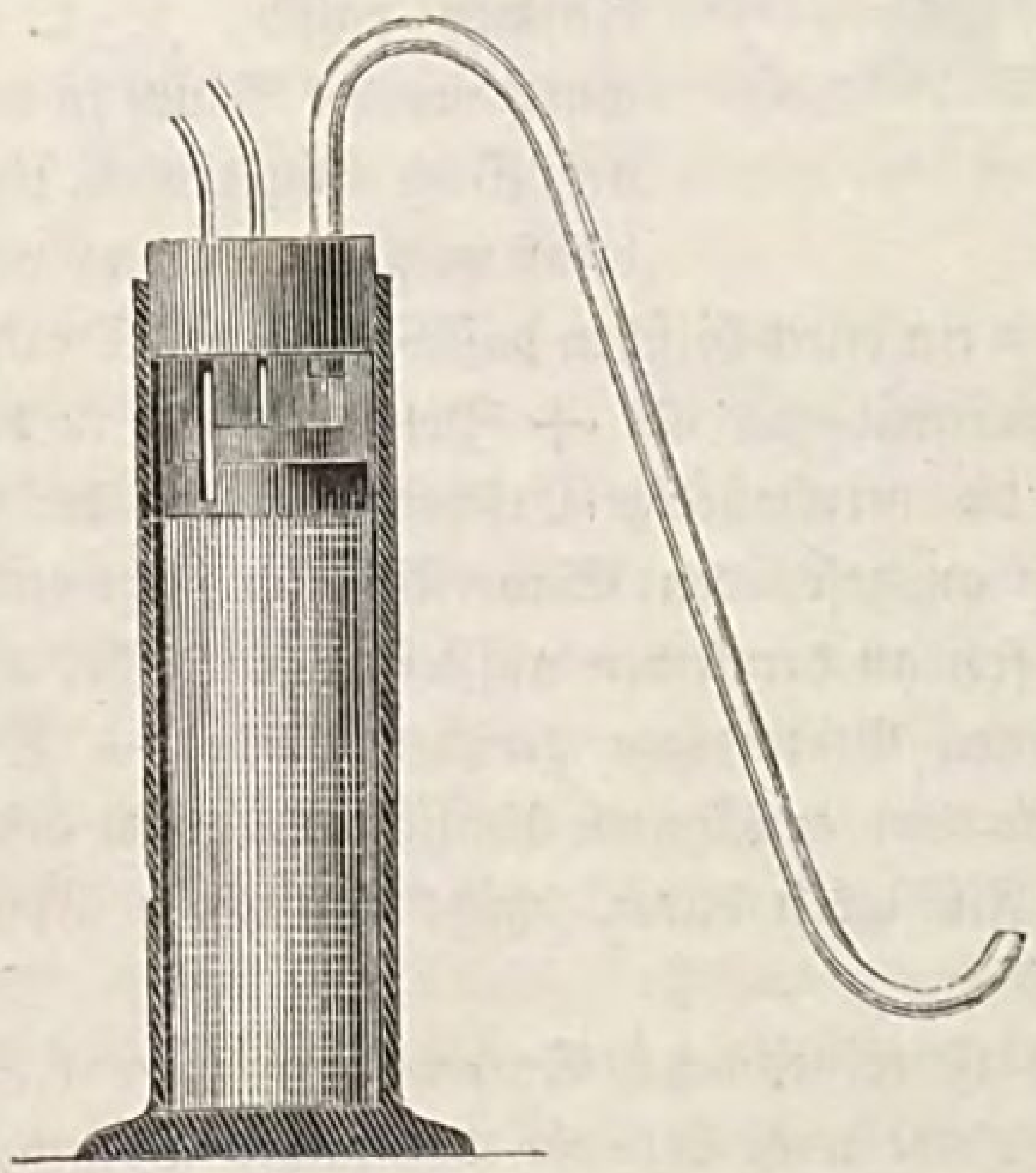


Fig. 131. ſtellt ein von Bunſen conſtruirtes Voltameter mit Eiſenplatten dar. In einem cylindriſchen Standglaſe von 6 bis 8 C. Durchmeſſer und 30 bis 35 Cent. Höhe befinden ſich zwei concentriſche Cylinder von Eiſenblech, welche durch eine von Kalilauge nicht angreifbare und zugleich iſolirende Subſtanz,

am beſten durch Stränge von geſponnenem Glas außer Berührung gehalten werden. Das mit Kalilauge gefüllte Gefäß iſt mit einem wohl paſſenden Kork verſchloſſen, durch welchen, außer dem Gasentbindungsrohre, noch zwei Kupferdrähte hindurch gehen, von denen jeder an einer Eiſenplatte angelöthet iſt, und welche mit den Polen der Säule in Verbindung gebracht werden.

Iſt ein ſolches Voltameter einmal gut hergerichtet, ſo kann man es, mit der Kalilauge gefüllt, immer zum Gebrauch bereit ſtehen laſſen.

Um ein ſtarkes Aufbrauſen der Kalilauge bei der Gasentwickelung zu verhindern, gießt man eine etwa eine Linie hohe Schicht von Terpentinöl darauf.

Mittelſt Eiſenplatten kann man ſich auf dieſe Weiſe ein Voltameter mit verhältnißmäßig großen Elektroden für wenig Koſten verſchaffen. Ein ſolches Voltameter iſt im Stande eine große Menge Knallgas in kurzer Zeit zu liefern, doch iſt die Gasentwickelung bei weitem nicht ſo ſtark, als man nach der Größe der Platten erwarten ſollte, wahrſcheinlich, weil die Kalilauge bedeutend ſchlechter leitet, als die verdünnte Schwefelſäure der gewöhnlichen Platinvoltameter.

Nach meinen Beobachtungen iſt ein ſolches Eiſenblech-Voltameter zu genauen Verſuchen nicht geeignet. Ich habe die Beobachtung gemacht, daß das Maximum der Gasentwickelung erſt einige Zeit nach der Schließung der Kette eintritt, und daß das Aufſteigen der Gasbläschen nicht gleich mit der Unterbrechung des Stromes aufhört, ſondern noch eine Zeit lang fortdauert. Es hat dies wohl in einer Abſorption der Gaſe durch die Flüſſigkeit ſeinen Grund.

Während bei Anwendung wäſſeriger Löſungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen das Eiſen paſſiv wird, wie man auch die Kette ſchließen mag, ſo wird umgekehrt das Eiſen nie paſſiv, auf welche Weiſe auch die Schließung bewerkſtelligt werden mag, wenn die eiſernen Elektroden in eine wäſſerige Löſung einer nicht ſauerſtoffhaltigen elektrolytiſchen Verbindung eingetaucht werden, deren negativer Beſtandtheil eine große Verwandtſchaft zum Eiſen hat, wie Waſſerſtoffſäuren, Halogenſalze, Schwefelmetalle u. ſ. w. In ſolchen Löſungen wird das Eiſen ſtets angegriffen, und es entwickelt ſich nie freier Sauerſtoff an demſelben.

Bei den auf Seite 361 u. 362 beſchriebenen Verſuchen war das urſprünglich paſſive und das ſecundär paſſive Drahtende in daſſelbe mit Säure gefüllte Gefäß eingetaucht worden. Schönbein hat den Kreis der Erſcheinungen dadurch noch mannichfaltiger gemacht, daß er zwei, auf verſchiedene Weiſe verbundene mit Säure gefüllte Gefäße anwandte (P. A. XL. 193.).

Die Gefäße *A* und *B*, Fig. 132, ſeyen mit Salpeterſäure von 1,3 bis 1,36 ſpec. Gew. gefüllt. Taucht man das durch Glühen paſſiv gemachte Drahtende *p* in *A* ein, hierauf das ungeglühte Ende *a* in *B*, ſo wird *a* lebhaft ange-

griffen. Taucht man nun eine zweite Gabel von Eiſendraht, deren beide Enden ungeglüht ſind, ſo ein, daß zuerſt d in B eingeſenkt und dann erſt p' in A eingetaucht wird, ſo wird p' paſſiv, p und p' bleiben unangegriffen, während an a und d eine lebhafte Gasentwickelung ſtattfindet.

Fig. 132.

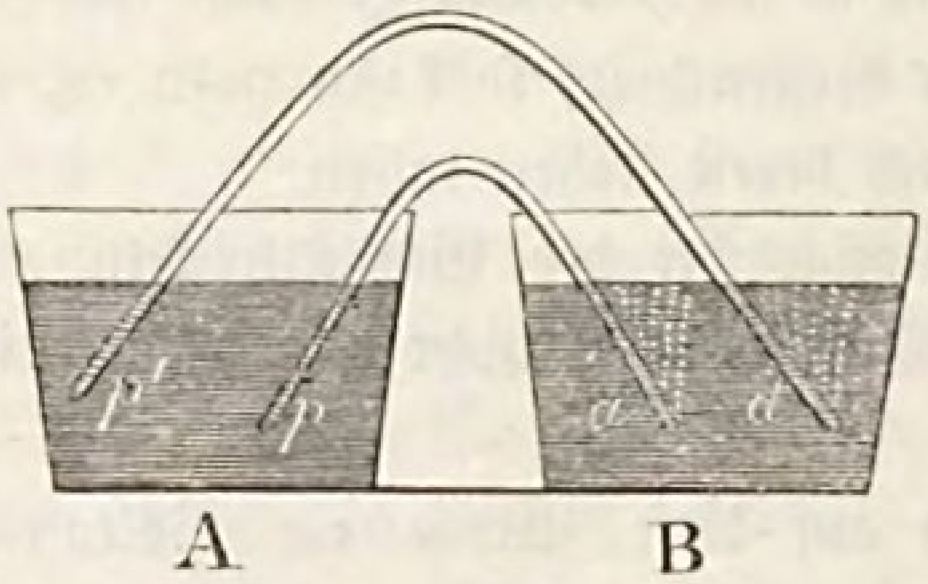
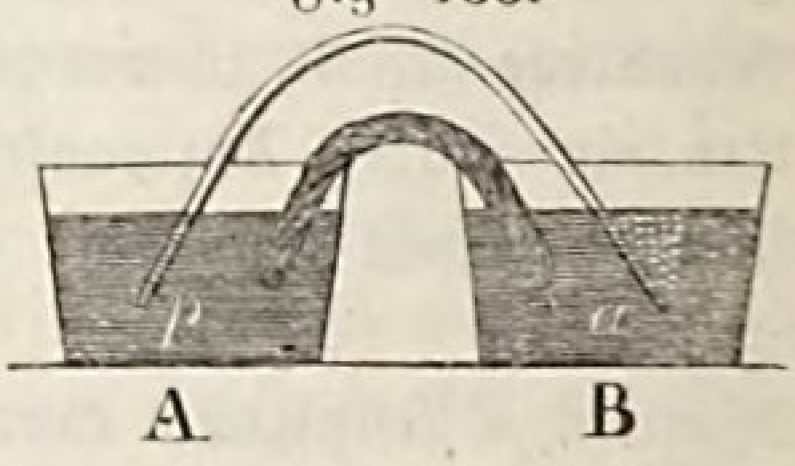


Fig 133.



Im Weſentlichen iſt dies nichts anderes, als eine andere Form des in Fig. 134 dargeſtellten Verſuchs.

Die mit Säure von 1,3 bis 1,37 gefüllten Gefäße A und B Fig. 133 ſeyen durch ein mit derſelben Säure getränktes Asbeſtbündel verbunden. Man tauche nun in A das paſſive Ende eines Eiſendrahtes ein, und nachher erſt das andere Ende a in B, ſo wird a nicht paſſiv, ſondern es wird lebhaft angegriffen. —

Hier iſt offenbar der Strom, welcher a paſſiv machen ſollte, des zu großen Leitungswiderſtandes wegen, zu ſchwach. Ein Beweis für die Richtigkeit dieſer Anſicht iſt der Umſtand, daß wenn man in A zuerſt den durch einen Platindraht oder paſſiven Eiſendraht gebildeten negativen Pol einer Säule eintaucht und alsdann erſt in B einen mit dem negativen Pol derſelben verbundenen Eiſendraht, daß dieſer nun paſſiv wird.

Erſetzt man bei dem Verſuch Fig. 133 das Asbeſtbündel durch einen mit der Säure gefüllten Heber, ſo iſt der Erfolg der gleiche, d. h. das zuletzt eingetauchte Drahtende a wird nicht paſſiv.

Denſelben Erfolg erhält man, wenn die Gefäße ſtatt durch einen Heber durch einen Platindraht verbunden werden. Hier iſt die galvaniſche Polariſation am Platin die Urſache der Stromſchwächung.

Erſetzt man den Platindraht durch den Draht eines Metalls, welches von der Säure angegriffen wird, ſo fällt der beim Platin auftretende Grund der Stromſchwächung weg, und in dieſem Falle wird auch das zuletzt in B eingetauchte Ende a des Eiſendrahtes paſſiv.

150 **Paſſives Eiſen in einer Löſung von Kupfervitriol.** Ein Eiſendraht mit dem poſitiven Pole einer Säule verbunden und in eine Auflöſung von Kupfervitriol eingeführt, die bereits in Verbindung mit dem negativen Pole ſteht, Fig. 134 (a. f. S.), verhält ſich gegen dieſe Flüſſigkeit vollkommen indifferent, d. h. es ſchlägt ſich an dieſem Draht kein Kupfer nieder, und es entwickelt ſich an ihm Sauerſtoffgas.

Bei jeder andern als der erwähnten Schließungsweiſe tritt dieſe Paſſivität des Eiſens nicht ein.

Ein Eiſendraht, den man durch einmaliges Eintauchen in ſehr concentrirter Salpeterſäure oder durch mehrmaliges in gewöhnliche paſſiv gemacht hat, zeigt dieſe Paſſivität auch gegen eine Auflöſung von Kupfervitriol, d. h. er beſitzt nicht mehr die Fähigkeit, der Flüſſigkeit Sauerſtoff zu entziehen und in Folge deſſen Kupfer zu fällen.

Fig. 134.

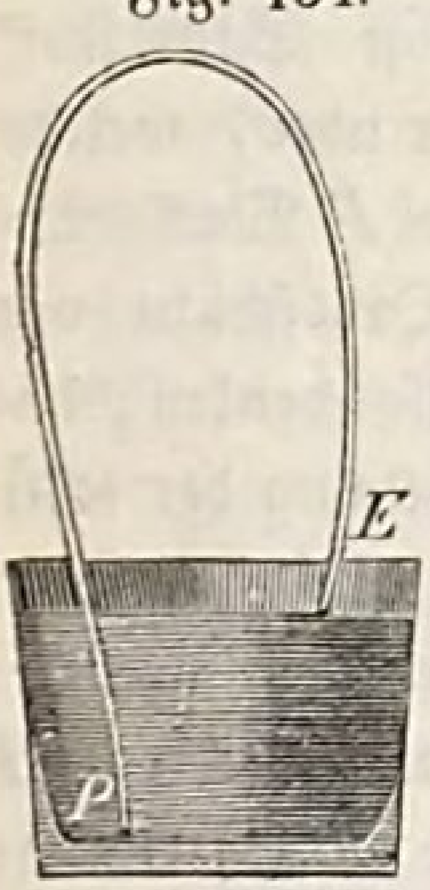
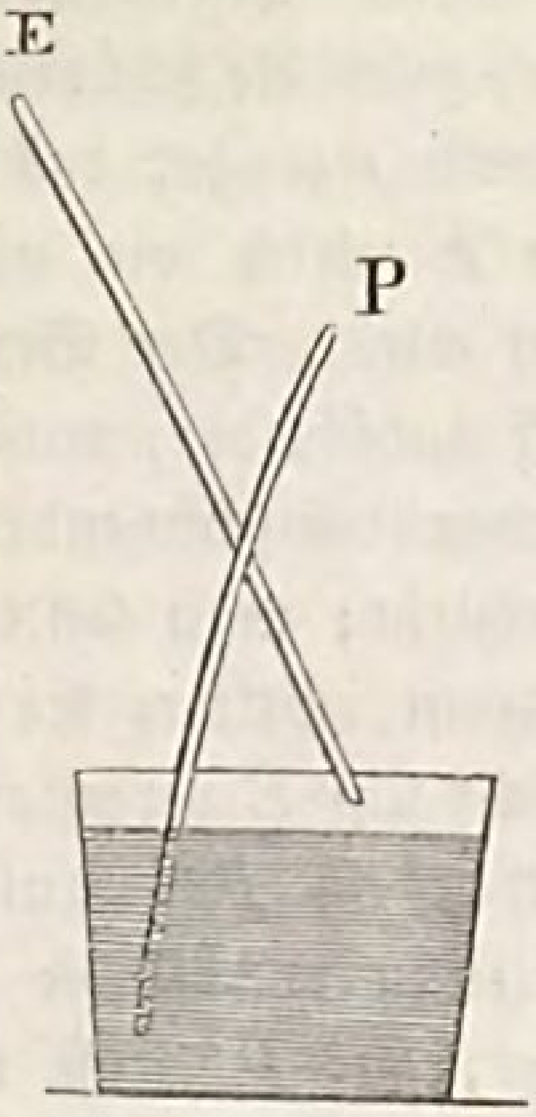


Fig. 135.



Wiederholt man den in Fig. 134 dargeſtellten Verſuch, nachdem man die Salpeterſäure mit einer Auflöſung von Kupfervitriol vertauſcht hat, ſo zeigt ſich, daß man die Paſſivität nicht von dem paſſiven Drahtende *P* auf das andere *E* übertragen kann, wie dies in Salpeterſäure der Fall war, d. h. wenn man das durch Eintauchen in concentrirte Säure paſſiv gemachte Drahtende *P* in eine Löſung von Kupfervitriol eintaucht, alsdann den Draht umbiegt, und das Drahtende *E* nun gleichfalls in die Flüſſigkeit einführt, ſo ſchlägt ſich an *E* das Kupfer nieder.

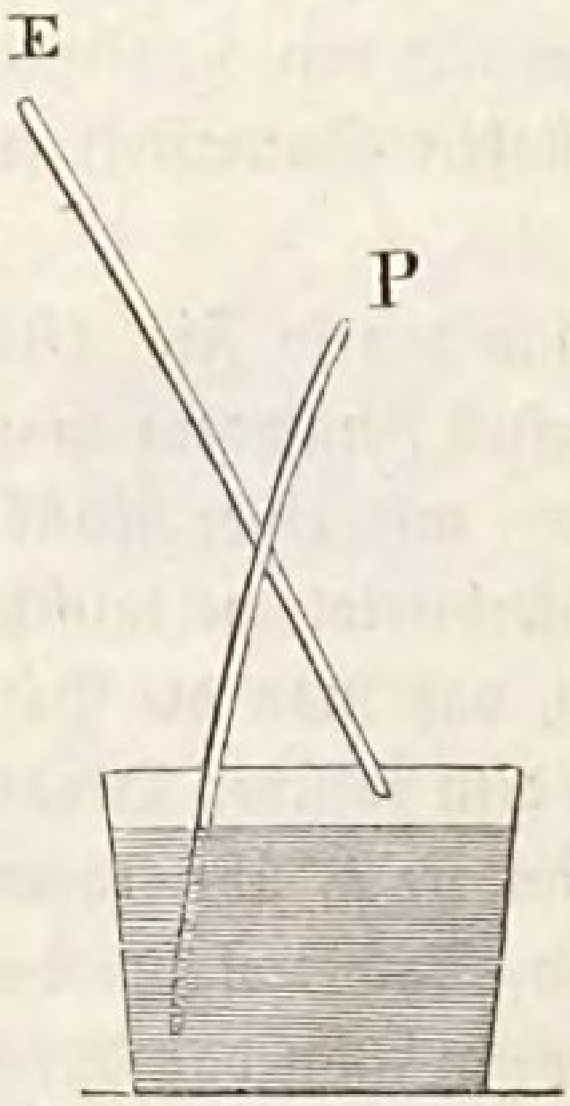
Da ein mit dem poſitiven Pol einer Säule verbundener Eiſendraht ſich ganz anders verhält, ſo vermuthete Schönbein mit Recht, daß der Fig. 134 dargeſtellte Verſuch mit einer Löſung von Kupervitriol nur darum ein negatives Reſultat liefert, weil der Strom, welcher die Paſſivirung des zuletzt eingetauchten Endes bewirken ſoll, bei dieſer einfachen Kette zu ſchwach iſt.

Aus dieſem Grunde iſt überhaupt die Uebertragung der Paſſivität von einem Eiſendraht auf den andern, welche wir oben kennen gelernt haben und welche durch Fig. 135 verſinnlicht worden iſt, bei Anwendung einer Auflöſung von Kupfervitriol ſtatt der Salpeterſäure nicht möglich.

Gelingt es, den Strom dadurch zu verſtärken, daß man den Draht *P* negativer macht als ein Platindraht oder paſſiver Eiſendraht iſt, ſo muß die Uebertragung auch in einer Löſung von Kupfervitriol möglich ſeyn. Von dieſer Betrachtung ausgehend kam Schönbein auf folgende Form des Verſuchs. Das eine Ende eines längeren Eiſendrahtes wurde mit Bleihyperoxyd überzogen und das ſo präparirte Ende *P* in eine Löſung von Kupfervitriol getaucht; wird nun der Draht umgebogen und auch

das nicht präparirte Ende E, Fig. 134, in die Flüſſigkeit eingetaucht, ſo zeigt ſich E paſſiv, es fällt kein Kupfer.

Fig. 136.



Während der Paſſivirung von E verſchwindet hierbei nach und nach das Bleihyperoxyd an P, und P wird activ, ſobald das Bleihyperoxyd, welches dieſes Drahtende überzieht vollkommen verſchwunden iſt.

Bei der Fig. 136 dargeſtellten Uebertragung der Paſſivität von einem Eiſendraht auf den andern in Salpeterſäure, wird die ſchützende Oxydſchicht auf E offenbar dadurch erzeugt, daß durch den Strom dem Drahtende E gleich die nöthige Sauerſtoffmenge zugeführt wird. Der Strom aber, welcher in E Sauerſtoff ausſcheidet, muß bei P Waſſerſtoff entwickeln, welcher der ſchützenden Oxydſchicht von P Sauerſtoff entzieht; man ſollte alſo denken, daß der nämliche Strom, welcher die Bildung der ſchützenden Oxydſchicht um E veranlaßt, auch das Verſchwinden derſelben an P veranlaſſen müſſe, oder mit andern Worten, daß die Paſſivirung von E die Activirung von P zur Folge haben müßte, vorausgeſetzt, daß P ſelbſt nur ein ſecundär paſſiver Draht iſt, alſo nicht durch eine ſehr dicke Schicht geſchützt iſt.

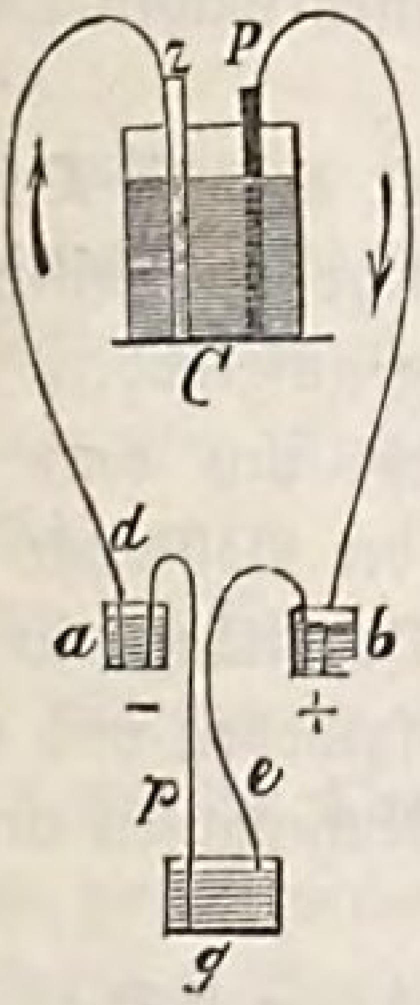
Der Verſuch zeigt aber, daß man mit einem ſecundär paſſiven Draht in Salpeterſäure von 1,36 ſpec. Gew. einen weiteren paſſiv machen kann, ohne daß der erſtere activ wird, was wohl darin ſeinen Grund hat, daß in dem frei werdenden Waſſerſtoff, wenigſtens theilweiſe, durch die Salpeterſäure reducirt wird, alſo die Oxydſchicht nicht völlig reduciren kann. Dauert aber der Strom längere Zeit an, wie es der Fall iſt, wenn man ſtatt E einen Zink- oder Kupferſtreifen an P herab in die Säure gleiten läßt, welche beide nicht paſſiv werden, ſo wird die ſchützende Schicht um P alsbald gelöſt, und P ſelbſt activ. Selbſt mit einem Eiſendraht E kann man P wieder activ machen, wenn man eine verdünntere Säure anwendet.

151 **Pulſiren der Paſſivität.** In Betreff der Intenſität, mit welcher die Salpeterſäure einen Eiſendraht angreift, laſſen ſich zwei Hauptgrade unterſcheiden, die wir die langſame und die raſche Einwirkung nennen wollen. Die langſame Einwirkung iſt dadurch charakteriſirt, daß ſie augenblicklich aufgehoben wird, ſobald man den Eiſendraht mit einem in die Säure eingetauchten Platindraht berührt; das der langſamen Ein-

wirkung der Säure ausgeſetzt geweſene Eiſen wird auf dieſe Weiſe paſſiv. — Auf einen Eiſendraht, welcher der raſchen Einwirkung der Säure ausgeſetzt iſt, an welchem alſo eine lebhafte Gasentwickelung ſtattfinden kann, hat dieſe Behandlung mit einem Platindraht keinen Einfluß, er läßt ſich dadurch nicht paſſiv machen.

Hat man einen Eiſendraht durch wiederholtes Eintauchen in Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. paſſiv gemacht, berührt man ihn, während er ſich noch in dieſer Flüſſigkeit befindet, mit einem Kupfer- oder Meſſingdrahte, welcher gleichfalls in die Säure eingetaucht iſt, ſo wird der Eiſendraht, wie dies ſchon angeführt wurde, activ, und zwar langſam activ. Dieſe Thätigkeit iſt jedoch keine ſtetige, ſondern ſie findet ſtoßweiſe Statt; mit andern Worten, es wird unter dieſen Umſtänden der Eiſendraht abwechſelnd activ und paſſiv, und dies geſchieht anfänglich in Intervallen von etwa einer Secunde, welche jedoch im Verlaufe der Action immer kürzer werden, bis endlich die raſche Wirkung eintritt.

Fig. 137.



Läßt man jeden der Zutretungsdrähte einer kräftigen einfachen Kette C, Fig. 137, in ein mit Queckſilber gefülltes Näpfchen treten, verbindet man alsdann das Näpfchen a, in welches der negative Leitungsdraht eintaucht, durch einen Platinſtreifen p mit der Flüſſigkeit (11 Raumtheile Waſſer auf 1 Raumtheil Schwefelſäure) der Zerſetzungszelle g; taucht man hierauf das eine Ende eines gewöhnlichen Eiſendrahtes e in das poſitive Queckſilbernäpfchen b, und dann das andere Ende deſſelben Drahtes in das geſäuerte Waſſer der Zerſetzungszelle, ſo wird das Eiſen paſſiv, und es entwickelt ſich begreiflicherweiſe an dem Platinelektroden p kein Waſſerſtoff, da wegen der Polariſation an p die elektromotoriſche Kraft von C nicht hinreicht, einen merklichen Strom durch g hindurchzutreiben.

Schließt man die Kette aber auf eine andere Weiſe, etwa ſo, daß man den Eiſendraht e erſt in g und dann in b eintaucht, ſo wird der Eiſendraht nicht paſſiv, g wird ſelbſt zu einer Erregungszelle, deren Strom ſich mit dem des conſtanten Elementes combinirt, und ſo tritt denn an p eine lebhafte Entwickelung von Waſſerſtoff ein, während der Eiſendraht verzehrt wird.

Iſt die Kette ſo geſchloſſen worden, daß e paſſiv iſt, daß alſo an p kein Waſſerſtoffgas aufſteigt, ſo giebt es nun verſchiedene Mittel, e wieder activ zu machen, worauf alsbald das Gas bei p aufzuſteigen beginnt. Ein Mittel, dieſe Gasentwickelung hervorzurufen, beſteht darin, daß man die Kette an irgend einer Stelle unterbricht und nach einiger Zeit wieder

ſchließt; zieht man z. B. den Draht *d* aus *a* heraus, ſo wird *e* alsbald activ, und wenn man nun *d* wieder eintaucht, ſo findet eine lebhafte Gasentwickelung an dem Platinſtreifen *p* Statt.

Um die Paſſivität von *a* zu erhalten, muß das conſtante Element mit einer gewiſſen Energie den Strom durch *g* durchzutreiben ſtreben, deshalb hört ſie auch auf, wenn die Kette unterbrochen wird. Die Energie, mit welcher das conſtante Element den Strom durch *g* hindurch zu treiben ſtrebt, kann aber auch dadurch geſchwächt werden, daß man eine gute Nebenſchließung anbringt.

Verbindet man die Queckſilbernäpfchen *a* und *b* durch einen kurzen dicken Kupferdraht, ſo geht durch dieſen faſt der ganze Strom, welcher das conſtante Element zu erzeugen vermag, *e* verliert ſeine Paſſivität, und nun geht auch ein Theil des von *C* erregten Stromes durch *g*, was ſich durch eine Gasentwickelung kund giebt.

Verbindet man dagegen, während *e* noch paſſiv iſt, *a* und *b* durch einen Draht, welcher einen bedeutenden Leitungswiderſtand ausübt, ſo iſt der Strom, welchen er leiten kann, zu unbedeutend, um eine Aufhebung der Paſſivität des Eiſendrahtes *e* zu veranlaſſen; durch einen ſolchen Draht kann man eine Gasentwickelung an *p* hervorrufen.

Zwiſchen dieſen beiden Gränzen der Leitungsfähigkeit des die Queckſilbernäpfchen *a* und *b* verbindenden Drahtes, dem ſehr gut leitenden nämlich, durch welchen die Paſſivität von *e* vollſtändig aufgehoben und eine dauernde Gasentwickelung an *p* hervorgebracht wird, und dem ſehr ſchlecht leitenden Draht, welcher gar keine Aufhebung der Paſſivität von *e* zu Stande bringen kann, liegt aber eine gewiſſe Drahtlänge in der Mitte, durch welche die Paſſivität von *e* abwechſelnd aufgehoben und wieder hergeſtellt wird, ſo daß an *p* eine ſtoßweiſe, durch Ruhepauſen unterbrochene Gasentwickelung ſtattfindet.

Die Länge und Dicke der Drähte, welche die beſchriebenen Effecte hervorbringen, hängt von den Umſtänden ab. Bei Schönbein's Verſuchen bewirkte ein Kupferdraht von 3 Zoll Länge und ½ Zoll Durchmeſſer eine dauernde Gasentwickelung an *p*. Ein 40 Fuß langer Draht von derſelben Dicke hob die Paſſivität von *e* nicht auf. Ein Draht von der nämlichen Dicke und 16 bis 20 Fuß Länge brachte aber jene Pulſationen in der Gasentwickelung hervor. Unmittelbar nach der Schließung dauerte es einige Zeit, bis die Gasentwickelung an *p* anfing; ſie war lebhafter als die, welche durch kürzere Drähte hervorgebracht wird, hörte aber nach einigen Secunden wieder auf, um bald wieder zu beginnen. So wechſelten Thätigkeit und Unthätigkeit, bis endlich ein dauernder Zuſtand der Unthätigkeit eintrat (P. A. LVII. 63).

152 **Theorie der Paſſivität.** Beim Ueberblick der bisher beſprochenen

Thatſachen kann wohl die Theorie der Paſſivität kaum mehr zweifelhaft ſeyn, ſie ergiebt ſich aus den Erſcheinungen leicht und ungezwungen, wenn auch manche Einzelheiten noch einer nähern Unterſuchung bedürfen.

Es kann wohl als gewiß betrachtet werden, daß die Erſcheinungen der Paſſivität des Eiſens durch eine Oxydul- oder Oxydſchicht vermittelt werden, welche einerſeits das Eiſen vor dem Angriff der Säure ſchützt, andererſeits aber in ähnlicher Weiſe elektromotoriſch wirkt wie die Bleihyperoxydſchicht, welche eine Platinplatte bekleidet.

Wie dieſe Schicht zuſammengeſetzt iſt, unter welchen Bedingungen ſie ſich bildet, unter welchen ſie ſich auflöſt, ſind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet ſind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Baſis der Erklärung zu verlaſſen.

Die Bildung der Oxydulſchicht beim Glühen der Eiſendrähte iſt klar. — Damit ſich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüſſigkeit bilden kann, iſt es nöthig, daß dem Eiſen die zur Bildung der Oxydſchicht nothwendige Menge Sauerſtoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemiſche Einwirkung der Flüſſigkeit auf das Eiſen ſtattfinden kann.

Concentrirte Salpeterſäure iſt ſo reich an Sauerſtoff, daß das bloße Eintauchen eines Eiſendrahtes in dieſelbe genügt, um die paſſiv machende Schicht zu bilden. Wie es kommt, daß ein Eiſendraht durch wiederholtes Eintauchen in Säure von 1,35 paſſiv wird, iſt noch nicht recht klar gemacht.

In Flüſſigkeiten, welche weniger ſauerſtoffreich ſind, muß ein galvaniſcher Strom die Zuführung des Sauerſtoffs an das Eiſen unterſtützen, wenn ſich die Oxydhülle bilden ſoll, und zwar muß die den Strom erregende elektromotoriſche Kraft um ſo ſtärker ſeyn, je weniger leicht ausſcheidenden Sauerſtoff die Flüſſigkeit enthält. In Salpeterſäure von 1,35 ſpec. Gew. genügt ſchon die Combination des Eiſendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelſäure muß man ſchon eine Volta'ſche Säule in Anwendung bringen.

Daß ein Eiſendraht, welcher durch bloßes Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnter Salpeterſäure paſſiv gemacht worden iſt, ſeinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandenſeyn einer dünnen Oxydſchicht in dieſem Falle in Zweifel zu ziehen, denn dieſe Schicht muß bei wachſender Dicke die Schattirungen der Newton'ſchen Farbenringe durchlaufen; ſo lange alſo die Schicht nur noch eine den Farben der erſten Ordnung entſprechende Dicke hat, kann ſie dem Metallglanz des Drahtes höchſtens eine ſchwache Nüancirung in's Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotoriſcher Beziehung ſteht die das Eiſen paſſiv machende Schicht dem Platin ſehr nahe.

Betrachten wir noch kurz die von verſchiedenen Phyſikern aufgeſtellten Erklärungen der Paſſivitätserſcheinungen.

Faraday (Phil. Magaz. 1836, Juli, Seite 53) nahm an, das Eiſen überziehe ſich in der concentrirten Salpeterſäure mit einer unlöslichen Oxydſchicht. Dieſe Anſicht wurde zwar von manchen Seiten angegriffen; alle Thatſachen in ihrem Zuſammenhange gehörig würdigend, kann man jedoch nicht umhin, dieſelben als die Baſis der richtigen Theorie der Paſſivität zu betrachten.

Mouſſon und de la Rive nehmen an, daß das Eiſen durch eine Schicht ſalpetriger Säure geſchützt werde (P. A. XXXIX. S. 330), eine Hypotheſe, deren Unhaltbarkeit Schönbein (P. A. XXXIX. S. 342) genügend darthut. In der That kann eine ſolche Schicht ſalpetriger Säure ſchon deshalb nicht als Erklärungsgrund der Paſſivität des Eiſens gelten, weil, wie wir geſehen haben, die Paſſivitätserſcheinungen keineswegs auf Salpeterſäure beſchränkt ſind.

Martens ſtellt die Behauptung auf (P. A. XXXVII. 393, LXI. 121), daß die Paſſivität, welche das Eiſen durch Erhitzen annimmt, von ſeiner Oxydation unabhängig ſei, eine Meinung, deren Unzuläſſigkeit ſowohl Schönbein (P. A. LIX. 149) als auch Beetz (P. A. LXII. 234) experimentell widerlegt haben.

Schönbein ſelbſt, welcher doch das meiſte Material zum Aufbau einer Theorie der Paſſivität zuſammenbrachte, hat zwar ſeine Abhandlungen über dieſen Gegenſtand vielfach mit theoretiſchen Betrachtungen durchwebt, glaubt aber nicht, ſich entſchieden für irgend eine der bis dahin vorgeſchlagenen Erklärungen ausſprechen zu können. Er betrachtet alſo die Erklärung der Paſſivitätserſcheinungen als eine noch offen ſtehende Frage.

Die zu Anfang dieſes Paragraphen entwickelten Anſichten über das Weſen und den Grund der Paſſivitätserſcheinungen ſtimmen im Weſentlichen mit denjenigen überein, welche Beetz (P. A. LXVII. 186) und Rollmann (P. A. LXXIII. 406) vertreten. Letzterer hat noch einen neuen Beweis für die Exiſtenz der Oxydſchicht auch bei dem in Flüſſigkeiten paſſiv gemachten Eiſen beigebracht, er hat nämlich gezeigt, daß das Paſſivmachen eines Eiſendrahtes ſtets mit einer Verminderung ſeiner Leitungsfähigkeit verbunden iſt, was offenbar nur einer ſchlecht leitenden Hülle zugeſchrieben werden kann.

Endlich habe ich noch einer neuen Reihe von Verſuchen zu erwähnen, welche Wetzlar 20 Jahre nachdem er zuerſt das chemiſche Publikum mit der merkwürdigen Indifferenz bekannt gemacht hatte, welche

das ſo oxydabele Eiſen in einigen Flüſſigkeiten zeigt, die ihren Sauerſtoff leicht abgeben, angeſtellt hat.

Wetzlar hat das elektromotoriſche Verhalten des auf verſchiedene Weiſe behandelten Eiſens nicht mit dem Galvanometer, ſondern mit einem condenſirenden Bohnenberger'ſchen Elektroſkop unterſucht.

Zu ſeinen Verſuchen gebrauchte er Scheiben von Schmiedeeiſen und Stahl, die bei einer Dicke von einigen Linien $2\frac{1}{2}$ bis $2\frac{3}{4}$ Zoll im Durchmeſſer beſaßen, und mit ihren in Berührung zu ſetzenden, gut abgeſchliffenen Flächen vollkommen auf einander paßten. Die der Berührungsoberfläche entgegengeſetzte Seite beſaß in der Mitte ein Gewinde zum Einſchrauben eines iſolirenden Handgriffs.

Wetzlar fand folgende Reſultate:

1) Wenn man von zwei blanken und metalliſch glänzenden Eiſen- oder Stahlſcheiben, die nach einem vorläufigen Verſuch am Condenſator ſich vollkommen homogen verhalten, die eine mit Roſt oder Smirgelpapier abreibt, ſo verhält ſie ſich poſitiv gegen die andere nicht abgeriebene.

In dieſem Falle reichten 8 bis 10 Berührungen und Uebertragungen an die Collectivplatte des Condenſators hin, um dieſen eine vollſtändige Ladung zu erheilen.

2) Befeuchtet man die Berührungsoberfläche einer blanken Stahlſcheibe mit deſtillirtem Waſſer, führt man dieſes 1—2 Minuten mit reinem Fließpapier reibend auf derſelben herum, ſo verhält ſich die Scheibe nach dem Abtrocknen negativ gegen eine zweite, vorher mit ihr homogen geweſenen.

3) Wird eine Eiſenſcheibe über der Weingeiſtlampe bis zum unmerklichen oder ſichtbaren Anlaufen erhitzt, ſo verhält ſie ſich, nach dem Erkalten geprüft, ſehr ſtark negativ gegen eine nicht ſo behandelte, ſo daß ſchon drei Uebertragungen zur vollſtändigen Ladung des Condenſators hinreichten. Eine ſolche Scheibe verhält ſich negativ gegen Kupfer, Silber und Gold.

Paſſivität anderer Metalle. Andere Metalle, namentlich Wis- 153
muth, Kupfer und Zinn, zeigen ähnliche Paſſivitätserſcheinungen wie das Eiſen, wenn auch in weniger ausgezeichneter Weiſe. Andrews (P. A. XLV. 121) machte die Beobachtung, daß ein Stückchen Wismuth, welches in eine große Menge Salpeterſäure von 1,4 ſpec. Gew. getaucht, und darauf in der Flüſſigkeit mit einer Platinplatte berührt worden war, faſt ganz aufhörte ſich zu löſen, und zugleich einen eigenthümlichen Glanz annahm, während dieſes Metall von derſelben Säure für ſich allein heftig angegriffen wurde.

Als eine kleine Wismuthſtange zum poſitiven Pole einer kleinen Batterie von zwei Grove'ſchen Plattenpaaren gemacht und in Salpeter-

ſäure von 1,4 ſpec. Gew. getaucht wurde, ward ihre Löslichkeit ſogleich gehemmt, und bei Aufhebung der Verbindung mit der Batterie zeigte ſie ſich in den paſſiven Zuſtand verſetzt.

Beim paſſiven Zuſtand des Wismuths iſt jedoch ſeine Auflöſung in der Säure nicht gänzlich aufgehoben, wie beim paſſiven Eiſen, ſie iſt nur in eine langſame Auflöſung verwandelt. Als poſitiver Pol einer Säule entwickelt das Wismuth nicht, wie dies beim paſſiven Eiſen der Fall iſt, freien Sauerſtoff (Schönbein in P. A. XLIII.), ſondern es wird gelöſt, und zwar langſam, wenn man eine ſchwache, raſcher, wenn man eine ſtärkere Säule anwendet.

Die ſchützende Schicht wirkt alſo beim Wismuth in ähnlicher Weiſe wie beim Eiſen, nur iſt ſeine ſchützende Kraft geringer.

Auch an Zinn und Kupfer hat Andrews derartige Paſſivitätserſcheinungen beobachtet.

Beetz macht die Bemerkung (P. A. LXVII. 210), daß der Grund, weshalb das Eiſen beſonders zur Paſſivität disponirt iſt, wohl in der großen elektriſchen Differenz zwiſchen dem Eiſen und ſeinem Oxyd liege. Nach dieſer Anſicht muß ein Metall die Paſſivitätserſcheinungen um ſo ſtärker zeigen, je größer die elektromotoriſche Kraft zwiſchen ihm und ſeinem Oxyd iſt.

Vierter Abſchnitt.

Galvaniſche Licht- und Wärmephänomene.

Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Strom. Die Ge- 154
ſetze der Wärmeentwickelung, welche der galvaniſche Strom in Metalldrähten hervorbringt, wurden von Joule (Phil. magazine, Oct. 1841) und von Lenz (P. A. LIX. S. 203 und 407, LXI. S. 18) unterſucht.

Da der Aufſatz von Joule in meiner nähern Umgebung nicht vorhanden iſt, ſo beſchränke ich mich darauf, nur über die Arbeit von Lenz zu berichten, was wohl genügen wird, da die Reſultate des ruſſiſchen Phyſikers mit denen des engliſchen übereinſtimmen.

Die beiden erſten Abtheilungen des Aufſatzes von Lenz im 59ſten Bande von Poggendorff's Annalen enthalten nur Vorbereitendes, worüber wir kurz hinweggehen können.

Zur Meſſung der Stromkraft bediente ſich Lenz einer Nervander'ſchen Tangentenbuſſole, welche auf das ſorgfältigſte gearbeitet und geprüft war. Durch genaue Verſuchsreihen überzeugte ſich Lenz davon, daß bis zu 40° die Stromſtärken der Tangenten des Ablenkungswinkels proportional ſind.

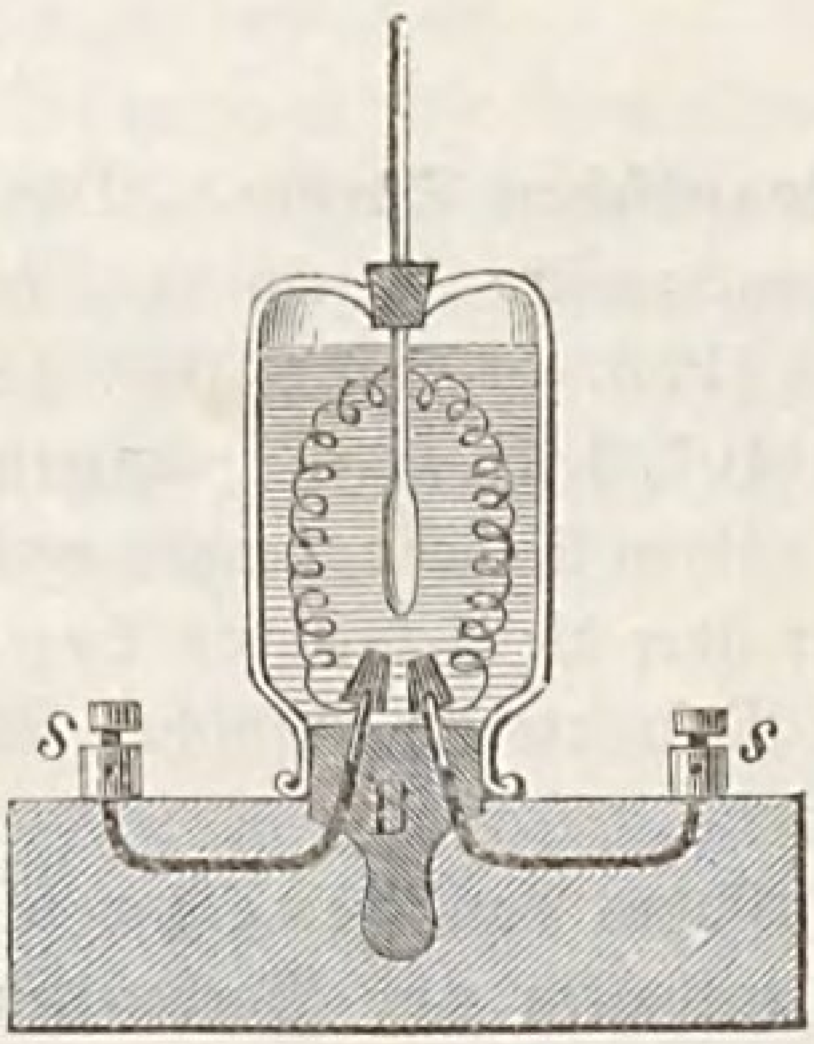
Auch mit der Waſſerzerſetzung hat Lenz ſeine Tangentenbuſſole verglichen. Als Reſultat ſeiner zahlreichen genauen Verſuche ergiebt ſich, daß man die Tangente des beobachteten Ablenkungswinkels mit 39,3 zu multipliciren habe, um die dieſem Strom entſprechende reducirte Menge Knallgas für die Minute in Kubikcentimetern ausgedrückt zu erhalten. Als Einheit des Stromes nimmt Lenz denjenigen an, welcher 1° Ablenkung an ſeine Tangentenbuſſole hervorbringt, und dieſe liefert 0,686 K.C. Knallgas in der Minute. — Da unſere Stromeinheit diejenige iſt, welche 1 K.C. Knallgas in der Minute liefert, ſo iſt klar, daß man die Lenz'ſchen Werthe der Stromſtärke mit 0,686 multipliciren muß, um ſie auf

unſere Stromeinheit zu reduciren. In dem Folgenden werde ich ſtatt der Lenz'ſchen Werthe für die Stromſtärke gleich die reducirten ſetzen.

Als Einheit des Widerſtandes nimmt Lenz den Widerſtand einer Windung ſeines Rheoſtaten (Agometers) von Neuſilber an, welcher nach ſeinen Angaben gleich iſt dem Widerſtande eines 6,358 engl. Fuß langen Kupferdrahtes, der einen Durchmeſſer von 0,0336 engl. Zollen hat. Daraus ergiebt ſich, daß dieſe Widerſtandseinheit gleich 2,66 der unſrigen iſt; die Lenz'ſchen Werthe des Widerſtandes müſſen alſo mit 2,66 multiplicirt werden, wenn man ſie auf unſere Einheit reduciren will.

Um die Wärme zu meſſen, welche in einem Metalldraht durch den galvaniſchen Strom entwickelt wird, wandte Lenz den beiſtehend gezeichneten Apparat, Fig. 138, an.

Fig. 138.



In der Mitte eines Brettes iſt der Glasſtöpſel *B* befeſtigt, welcher in den Hals einer Glasflaſche eingeſchliffen iſt, ſo daß dieſe vermittelſt etwas Fett luft- und waſſerdicht aufgeſetzt werden konnte. — Eine in der Figur fortgelaſſene Meſſingklammer drückt den untern horizontalen Rand des Flaſchenhalſes an das Brett an, ſo daß die Flaſche ſelbſt bei heftigen Bewegungen des Apparates nicht herabfällt. — Die Flaſche hat oben, alſo eigentlich in ihrem Boden, ein cylindriſch eingeſchliffenes Loch, in welches ſowohl die Flüſſigkeit eingegoſſen, als auch mittelſt eines Korkes ein Thermometer eingeſetzt werden kann. Dieſes Thermometer war in $^1/_5$ Grade getheilt.

Durch den Glasſtöpſel gehen zwei eingebohrte und feſtgekittete Drahtſtücke von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer hindurch. Ihr oberes in die Flaſche hineinragendes und hier etwas coniſch zugehendes Ende iſt von Platin; dieſe Platinkegel ſind unten an gleich dicke Kupferdrähte angelöthet, welche, in das Brett eingelaſſen, zu den Schraubklemmen *s* führen, in welche die von den Polen der Kette kommenden Zuleitungsdrähte eingeſchraubt werden.

Der Draht, welcher erwärmt werden ſoll, iſt vorläufig um einen cylindriſchen 1 bis 2 Linien dicken Stift zu einer Spirale gewunden und mit ſeinen Enden mittelſt zweier Platinklötzchen auf den Platinkegeln feſtgeklemmt. Er hält ſich durch ſeine Elaſticität aufrecht, ohne mit ſeinen Windungen irgendwo anzurühren.

Die Flüſſigkeit, mit welcher die Flaſche immer wenigſtens ſo weit ge-

füllt war, daß die Drahtſpirale ganz untertauchten, war Weingeiſt von 85 bis 86 Procent Alkohol, indem Waſſer noch ein ſo guter Leiter iſt, daß ein Theil des Stromes nicht durch den Draht, ſondern durch das Waſſer hindurchgeht, was man ſogleich an einer ſchwachen Gasentwickelung erkennt.

Nachdem die Drahtſpirale gehörig befeſtigt und eine gemeſſene Quantität Weingeiſt in die Flaſche eingefüllt war, wurde der Apparat zugleich mit dem Multiplicator (Nervander'ſche Tangenbuſſole) und dem Rheoſtat in den Schließungsbogen einer Daniell'ſchen Batterie gebracht. — Mittelſt des Rheoſtaten wurde der Strom ſtets auf einer beſtimmten Stärke erhalten; unterdeſſen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich iſt, damit das Thermometer im Weingeiſt um eine beſtimmte Anzahl von Graden ſteigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreiſe die Flüſſigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmäßige Vertheilung der Temperatur im Inneren der Flüſſigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverluſt an die Umgebung veranlaßt werden, wurde der Weingeiſt unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flaſche eingefüllt, und der Verſuch geſchloſſen, als ſeine Temperatur gerade um eben ſo viele Grade über die Lufttemperatur geſtiegen war, als ſie anfänglich darunter ſtand.

Um den Gang der Unterſuchung verſtändlich zu machen, mag hier derſelbe für eine Verſuchsreihe ausführlich auseinander geſetzt werden.

Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeiſt wurde durch Eis bis auf 7° erkaltet in die Flaſche eingefüllt und nach der Schließung der Kette mittelſt des Rheoſtaten die Nadel des Multiplicators fortwährend auf 35° erhalten; es wurden nun an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in welchen die Temperatur des Weingeiſtes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, dann ferner die Momente, in denen ſie 16, 17, 18 u. ſ. w. bis 22 Grad war.

Es ergab ſich, daß die Zeit, welche nöthig iſt, um die Temperatur des Weingeiſtes von

15	bis	17,	alſo um	2°	zu	erhöhen . . .	1,05	Minuten
14	»	18	»	» 4	»	»	2,22	»
13	»	19	»	» 6	»	»	3,25	»
12	»	20	»	» 8	»	»	4,30	»
11	»	21	»	» 10	»	»	5,42	»
10	»	22	»	» 12	»	»	6,53	»

betrug, daraus ergiebt ſich, daß die Zeit t, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeiſtes um 1° zu erhöhen, im Durchſchnitt 0,542 Minuten betrug.

Der Leitungswiderſtand des Spiraldrahtes wurde dadurch ermittelt, daß man nach Entfernung des Apparates Fig. 138 aus dem Schließungsbogen beobachtete, wie viel Rheoſtatenwindungen in die Schließung noch eingeführt werden mußten, um den Strom wieder auf dieſelbe Größe zu bringen, welche er bei Einſchaltung des Erwärmungsapparates gehabt hatte.

In der folgenden Tabelle ſind die Reſultate einer großen Anzahl ſolcher Verſuchsreihen zuſammengeſtellt:

Nummer der Verſuchsreihe	Drahtſorte	*s*	*t*	*l*
1	Neuſilber *a*	6,93	1,349	93,50
2	»	10,53	0,571	93,63
3	»	14,30	0,300	93,94
4	Neuſilber *b*	10,53	0,920	58,76
5	»	14,30	0,481	58,64
6	»	18,32	0,288	59,01
7	»	14,30	0,457	60,16
8	Neuſilber *c*	18,32	0,384	44,59
9	Platin	14,30	0,555	50,45
10	»	18,32	0,325	51,41
11	Eiſen	22,69	0,435	24,92
12	Kupfer	18,32	1,301	13,90
13	»	22,69	0,835	13,90
14	»	27,52	0,575	13,92
15	»	32,98	0,381	14,01
16	»	27,52	0,544	14,31

Es waren drei verſchiedene Neuſilberdrähte zu den Verſuchen angewandt worden; der mit *a* bezeichnete war der dünnſte, *b* war etwas dicker als *a*, *c* endlich etwas dicker als *b*.

In dieſer Tabelle bezeichnet *s* die Stromſtärke und *l* den Leitungswiderſtand des Drahtes in unſeren Einheiten ausgedrückt; *t* iſt die Zeit, welche nöthig iſt, um die Temperatur des Weingeiſtes um 1^0 zu erhöhen. Wie der jedesmalige Werth von *t* als Reſultat einer Verſuchsreihe ermittelt wird, iſt bereits oben angegeben worden.

Die Quantität des in die Flaſche gegoſſenen Weingeiſtes war immer faſt ganz genau dieſelbe und zwar im Mittel 90 Gramm.

Vergleicht man alle diejenigen Verſuchsreihen miteinander, bei welchen die Stromſtärke dieſelbe war, ſo ergiebt ſich, daß das Product von t und l ſehr nahe conſtant bleibt. Es ergiebt ſich:

Für den Strom 10,53:

2) Neuſilber a . . $t\,l = 53{,}46$
4) Neuſilber b . . $t\,l = 54{,}06$.

Für den Strom 14,30:

3) Neuſilber a . . $t\,l = 28{,}18$
5) Neuſilber b . . $t\,l = 28{,}11$
7) Neuſilber b . . $t\,l = 27{,}49$
9) Platin . . . . . $t\,l = 28{,}00$.

Für den Strom 18,32:

6) Neuſilber b . . $t\,l = 16{,}99$
8) Neuſilber c . . $t\,t = 17{,}12$
10) Platin . . . . . $t\,l = 16{,}71$
12) Kupfer . . . . . $t\,l = 18{,}08$.

Für den Strom 22,69:

11) Eiſen . . . . . $t\,l = 10{,}84$
13) Kupfer . . . . . $t\,l = 11{,}60$.

Die Gleichheit der Werthe von $t\,l$ für ein und denſelben Strom iſt ſo augenfällig, daß die Annahme gerechtfertigt iſt, die Erwärmungszeit ſey dem Leitungswiderſtand umgekehrt proportional, oder mit anderen Worten, die Erwärmungen in beſtimmter Zeit ſeyen dem Leitungswiderſtand direct proportional und unabhängig von der ſonſtigen Natur des Metalles.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stromſtärke zu ermitteln, müſſen wir die Verſuche zuſammenſtellen, welche mit demſelben Drahte bei verſchiedenen Strömen angeſtellt wurden; es zeigt ſich alsdann, daß für denſelben Draht $s^2\,t$ nahezu eine conſtante Größe iſt. Es ergiebt ſich nämlich:

Für den Neuſilberdraht a:

1) . . . . . $s^2\,t = 64{,}8$
2) . . . . . $s^2\,t = 63{,}3$
3) . . . . . $s^2\,t = 61{,}3$.

Für den Neuſilberdraht b:

4) . . . . . $s^2\,t = 102{,}0$
5) . . . . . $s^2\,t = 98{,}4$
6) . . . . . $s^2\,t = 96{,}7$
7) . . . . . $s^2\,t = 93{,}5$.

Für den Platindraht:

9) . . . . $s^2\,t = 113{,}5$

10) . . . . . $s^2\,t = 109{,}1$.

Für den Kupferdraht:

12) . . . . $s^2\,t = 436{,}6$

13) . . . . $s^2\,t = 429{,}9$

14) . . . . $s^2\,t = 435{,}5$

15) . . . . $s^2\,t = 414{,}2$

16) . . . . $s^2\,t = 412{,}0$.

Durch dieſe Verſuche iſt alſo dargethan:

1) *Die Wärmeentwickelung iſt dem Leitungswiderſtande der Drähte proportional.*

2) *Die Wärmeentwickelung iſt den Quadraten der Stromſtärke proportional.*

Wenn demnach t die Zeit iſt, welche erfordert wird, damit durch den Strom s bei dem Leitungswiderſtande l eine gegebene Weingeiſtmaſſe um 1° R. erwärmt werde, ſo iſt $s^2\,t\,l$ die Zeit, welche nöthig iſt, damit dieſelbe Weingeiſtmaſſe eine Temperaturerhöhung von 1° R. durch die Einheit der Stromſtärke bei der Einheit des Leitungswiderſtandes erfahre. — Da nun für alle in obiger Tabelle die Weingeiſtmaſſe ſehr nahe dieſelbe war, ſo muß auch das Product $s^2\,t\,l$ für alle in der Tabelle verzeichnete Verſuchsreihen ſehr nahe dieſelben ſeyn. Es ergeben ſich für das Product $s^2\,t\,l$ für die verſchiedenen Verſuchsreihen folgende Werthe.

Verſuchsreihe.	$s^2\,t\,l$.
1	6059
2	5927
3	5758
4	5994
5	5770
6	5706
7	5625
8	5747
9	5726
10	5609
11	5975
12	6069
13	5976
14	6062
15	5803
16	5896
Mittel . . .	5856.

Die Maſſe des Weingeiſtes, welcher in den obigen Verſuchsreihen erwärmt wurde, betrug ſammt der zu erwärmenden, in Beziehung auf ſpecifiſche Wärme auf Weingeiſt reducirte Glasmaſſe 118 Gramm.

Die Einheit der Stromſtärke, durch einen Draht hindurchgehend, welcher die Einheit des Leitungswiderſtandes ausübt, entwickelt alſo ſo viel Wärme, daß dadurch die Temperatur von 118 Gramm Weingeiſt in 5856 Minuten um 1^0 R. erhöht wird.

Die ſpecifiſche Wärme des zu den beſprochenen Verſuchen benutzten Weingeiſtes iſt 0,7; eine beſtimmte Temperaturerhöhung von 118 Grammen Weingeiſt erfordert alſo ebenſo viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung von 118 . 0,7 = 82,6 Grammen Waſſer. — Für 1 Gramm Waſſer beträgt alſo jene Zeit

$$\frac{5856}{82,6} = 70,9 \text{ Minuten},$$

oder wenn man ſtatt der Reaumür'ſchen Grade Celſius'ſche einführt

$$70,9 \,.\, 0,8 \doteq 56,72 \text{ Minuten *)},$$

d. h. wenn die Einheit der Stromſtärke einen Draht durchläuft, deſſen Widerſtand gleich iſt dem eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1^{mm} Durchmeſſer, ſo wird dadurch eine ſolche Wärmemenge erzeugt, daß ſie die Temperatur von 1 Gramm Waſſer in $56\frac{3}{4}$ Minuten um 1^0 C. erhöht.

Nehmen wir, wie es gewöhnlich geſchieht, als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Waſſer um 1^0 erhöht, ſo ergiebt ſich alſo aus obigen Unterſuchungen, daß die Einheit der Stromſtärke, die Einheit des Widerſtandes durchlaufend, in demſelben in einer Stunde 0,001057 und in einer Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten erzeugt.

Betrachtungen über die Lenz'ſchen Reſultate. Nachdem Lenz 155
das Verhältniß zwiſchen Stromſtärke und Wärmeentwickelung in einem metalliſchen Schließungsdrahte entwickelt hat, liegt die Idee nahe, die im Schließungsdrahte erzeugte Wärme mit der Menge des in den Erregungszellen durch Waſſerzerſetzung gebildeten Knallgaſes zu vergleichen, ein näheres Eingehen in die Sache zeigt aber bald, daß eine ſolche Vergleichung zu keinem conſtanten Reſultate führen kann.

Wenn für eine beſtimmte Anordnung der Volta'ſchen Kette und einen beſtimmten Schließungsdraht ein beſtimmtes Verhältniß zwiſchen Knallgas

*) In der Lenz'ſchen Abhandlung ſcheint bei der entſprechenden Berechnung (P. A. LXI. 42.) durch Verwechſelung von Minuten und Secunden ein Irrthum eingeſchlichen zu ſeyn.

und Wärmeentwickelung ſtattfindet, ſo ändert ſich dieſes Verhältniß, ſobald man caeteris paribus nur den weſentlichen Leitungswiderſtand der Kette oder die elektromotoriſche Kraft derſelben ändert, denn durch die eine Aenderung ſowohl, wie durch die andere wird die Stromſtärke verändert; in Folge deſſen ändert ſich die Knallgasbildung in demſelben Verhältniß wie die Stromſtärke, während die Wärmeentwickelung im Verhältniß des Quadrats der Stromſtärke zunimmt; das Verhältniß zwiſchen Knallgas und Wärmeentwickelung muß alſo nothwendig ein anderes werden, man kann demzufolge auch die im Schließungsbogen freiwerdende Wärme durchaus nicht als ein thermiſches Aequivalent des in den Erregungszellen entwickelten Knallgaſes betrachten, es kann mithin auch kein beſtimmtes Verhältniß beſtehen zwiſchen der Wärme, welche durch Verpuffung einer beſtimmten Menge Knallgas erzeugt wird, und derjenigen, welche bei Entwickelung einer gleichen Knallgasmenge in den Erregungszellen einer galvaniſchen Kette in dem Schließungsbogen derſelben frei wird. —

Noch immer iſt es nicht gelungen, eine, wenn auch nur annähernd richtige Vergleichung zwiſchen der elektriſchen Quantität der Elektriſirmaſchine und dem Volta'ſchen Apparate aufzuſtellen. Nachdem Lenz genaue Unterſuchungen über die Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Strom und Rieß zuverläſſige quantitative Beſtimmungen der Wärme gemacht hat, welche in einem Drahte frei wird, den der Entladungsſchlag einer Leidner Flaſche durchläuft, ſcheint auf den erſten Anblick ein Anhaltspunkt für dieſe Vergleichung gegeben, aber auch hier iſt das Reſultat der Betrachtung ein negatives.

Von der ziemlich bedeutenden Erwärmung ausgehend, welche der Entladungsſchlag der Flaſche in Metalldrähten hervorbringt, ſollte man auf eine ziemlich bedeutende Quantität der hier in Wirkung tretenden Elektricität ſchließen; den auf Seite 118 angeführten Verſuchen zufolge beträgt für $\frac{q^2}{s} = 1$ die Erwärmung in dem Platindraht des Luftthermometers 0,3787, oder in runder Zahl 0,4. — Jener Draht hatte einen Durchmeſſer von 0,072''' und eine Länge von 59,7''', wonach er ungefähr 60 Milligramm wiegt; eine Erwärmung dieſes Drahtes um 0,4° erfordert alſo, wie man leicht berechnen kann, 0,000000768 Wärmeeinheiten.

Sehen wir nun, welche Wärmemenge in demſelben Platindraht durch die galvaniſche Stromeinheit freigeworden wäre. — In der Einheit des Widerſtandes erzeugt die Stromeinheit 0,0000176 Wärmeeinheiten in der Minute; der Leitungswiderſtand jenes Platindrahtes iſt aber, wie ſich leicht berechnen läßt, gleich 6, folglich würden in ihm durch die Stromeinheit $0{,}0000176 \times 6 = 0{,}0001$ Wärmeeinheiten erzeugt worden ſeyn.

Die Erwärmung, welche der Entladungsſchlag der Flaſche für $\frac{q^2}{s} = 1$ in dem Platindraht hervorbringt, nämlich 0,000000768, iſt alſo nahezu $^1/_{100}$ von derjenigen, welche die Einheit der Stromſtärke in dieſem Drahte in einer Minute erzeugt.

Wenn $s = 1$, d. h. wenn die Elektricität auf einer der ſeiner Zeit beſprochenen Flaſchen angehäuft wird, ſo muß q auch gleich 1 ſeyn; für $s = 1$ und $q = 10$, d. h. alſo wenn die Flaſche durch 10 Funken der Maaßflaſche unter den früher entwickelten Verhältniſſen geladen wird, ſo muß alſo auch ihr Entladungsſchlag in einem Metalldraht eine Erwärmung hervorbringen, welche nahezu derjenigen gleich iſt, welche die Einheit der Stromſtärke in 1 Minute in denſelben Draht erzeugt. Um aber die Ladung $q = 10$ auf die Flaſche zu bringen, wird wohl das Drehen der Maſchine kaum eine Minute fortgeſetzt werden müſſen; bei oberflächlicher Betrachtung könnte man alſo, von Wärmeentwickelung ausgehend, zu dem Schluß kommen, daß durch das Drehen der Maſchine in einer Minute nahezu eine Elektricitätsmenge erzeugt wird, welche der chemiſchen Einheit der galvaniſchen Stromſtärke gleich iſt.

Daß aber eine ſolche Vergleichung, oder vielmehr ein ſolcher aus dieſer Vergleichung gezogener Schluß durchaus unzuläſſig iſt, geht ſchon aus dem Umſtande hervor, daß man mittelſt der Elektriſirmaſchine keine merkliche Waſſerzerſetzung erhält, während man mit Leichtigkeit 1 Kubik-Centimeter Knallgas pr. Minute erhalten müßte, wenn jener Schluß auf die elektriſche Quantität der Elektriſirmaſchine zuläſſig wäre.

Eine genauere Betrachtung zeigt aber auch bald, daß der Entladungsſchlag der Flaſche und der galvaniſche Strom unter ganz verſchiedenen nicht vergleichbaren Umſtänden erwärmend auf den Draht wirken.

Dieſelbe Flaſchenladung, in längerer Zeit durch einen Draht entladen, bringt in demſelben eine geringere Erwärmung hervor, und die Erwärmung wird unmerklich, ſobald die Entladungszeit eine meßbare Dauer erhält; wenn man alſo die Elektricitätsmenge, welche durch minutenlanges Drehen der Maſchine auf einer Flaſche angehäuft bei ihrem Entladungsſchlag den Draht merklich erwärmt, wenn man dieſelbe Elektricitätsmenge ſich in continuirlichem Strom während einer Minute durch den Draht entladen läßt, ſo iſt die durch dieſen Strom bewirkte Erwärmung unmerklich. — Ein ſolcher Strom aber iſt allein mit dem galvaniſchen vergleichbar. Um die Maſchinenelektricität mit der galvaniſchen in Beziehung auf Quantität zu vergleichen, müßte man die Erwärmung meſſen können, welche die von dem Conductor der Maſchine durch einen Metalldraht abfließende Elektricität in demſelben hervorbringt. Die momentane Entladung einer angehäuften Elektricitätsmenge kann nicht direct

mit einem continuirlichen Strome verglichen werden. Daß bei der Wärmeentwickelung des Entladungsſchlages der Leidner Flaſche der Vorgang ein ganz anderer iſt, als bei der Erwärmung durch den galvaniſchen Strom, geht auch ſchon daraus hervor, daß es bei dem Entladungsſchlag gar nicht allein auf die Quantität der Elektricität ankommt, welche durch den Draht entladen wird, ſondern auch auf die Größe der Oberfläche, auf welcher ſie vorher vertheilt war; bei der Erwärmung durch den Entladungsſchlag kommen alſo noch Factoren in Betracht, von denen bei dem Strom gar nicht die Rede iſt. Der galvaniſche Strom und der Entladungsſchlag haben in Beziehung auf die Erwärmung von Metalldrähten nur das gemein, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektriſchen Quantität und dem Widerſtand des durchlaufenen Drahtes proportional iſt.

156 **Glühen von Metalldrähten durch den galvaniſchen Strom.** Während über die Glüherſcheinungen von Metalldrähten durch den Entladungsſchlag der Leidner Flaſche die ſchönen Arbeiten von Rieß Licht verbreitet haben, fehlt es an entſprechenden Unterſuchungen über das galvaniſche Glühen, obgleich dieſe mit weniger Schwierigkeiten verbunden ſeyn dürften als jene. —

In der ſchon erwähnten Abhandlung Caſſelmann's: »über die galvaniſche Kohlenzinkkette, Marburg 1844«, findet ſich auf Seite 43 folgende Bemerkung:

»Ein Platindraht von bedeutender Länge, als Schließungsdraht angewandt, wird nicht glühend, ſondern erſt dann, wenn er auf eine beſtimmte Länge verkürzt iſt. Verkürzt man ihn aber darüber hinaus immer mehr und mehr, ſo bekommt man ihn zuletzt von einer Länge, bei der er nicht mehr glühend wird, woraus hervorgeht, daß das Glühendwerden eines Schließungsdrahtes nur bei einem beſtimmten Verhältniſſe ſeines Leitungswiderſtandes zu dem Quantum der ſich durch ihn hindurchzwängenden Elektricität ein Maximum erreicht.«

Wenn der Strom einer Säule, durch einen Draht gehend, denſelben glühend macht, ſo muß bei Verkürzung des Drahtes die Stromſtärke wachſen, und es erſcheint deshalb nicht recht glaublich, daß der ſtärkere Strom das kürzere Drahtſtück nicht mehr glühend machen ſoll. Um über dieſen Punkt einigermaßen Licht zu erhalten, ſtellte ich ſelbſt eine Verſuchsreihe an, da, wie bereits bemerkt, bis jetzt noch keine weiteren Unterſuchungen über die Geſetze des galvaniſchen Glühens gemacht worden ſind.

Meine Verſuche waren folgendermaßen angeordnet. In dem Schließungsbogen der Säule *S* (Fig. 139 a. f. S.) war bei *H* ein ſogleich näher zu beſchreibender Drahthalter, bei *B* eine Tangentenbuſſole eingeſchal-

tet. Bei Q befand ſich ein Queckſilbernäpfchen, vermittelſt deſſen die Kette leicht geöffnet und geſchloſſen werden konnte.

Der Drahthalter iſt Fig. 140 dargeſtellt. Auf einem Brette ſtehen zwei Meſſingſäulchen; an jedem derſelben ſind zwei Hülſen verſchiebbar.

Fig. 139.

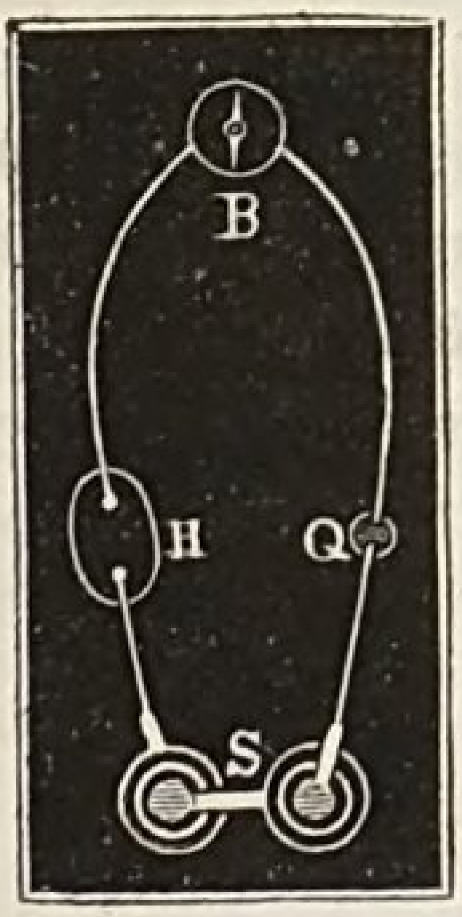
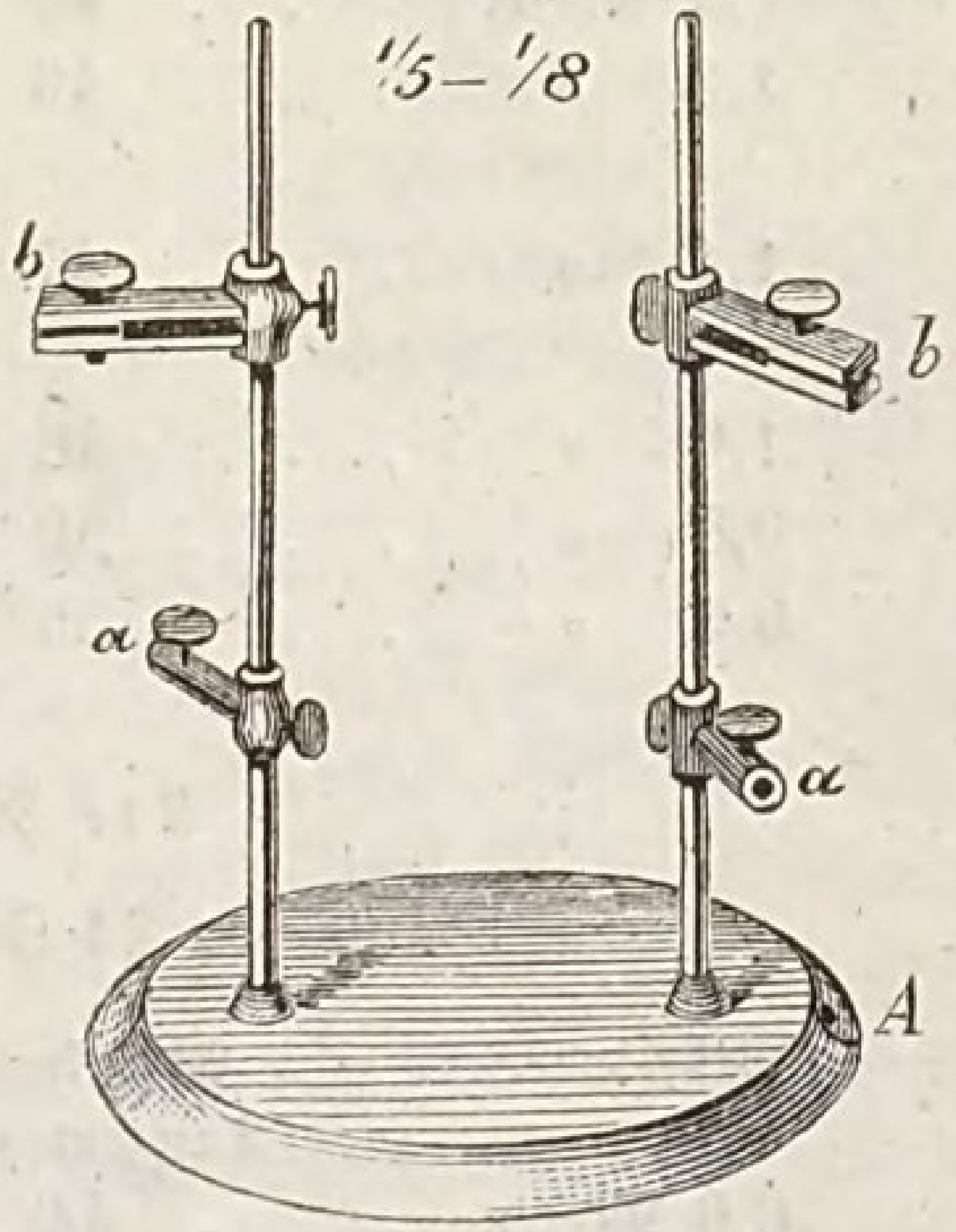


Fig. 140.



In die eine der Hülſen a wird der von dem einen Pole der Säule kommende Verbindungsdraht in die andere derjenigen eingeſchraubt, welche nach der Tangentenbuſſole führt. Die Hülſen b dienten, um zwiſchen ihnen den Verſuchsdraht auszuſpannen, und zwar bevor die Kette geſchloſſen war.

Die Verbindungsdrähte zwiſchen S, H, B, Q und S waren Kupferdrähte von ungefähr $^3/_4$ Linien Dicke und einer Geſammtlänge von höchſtens 5 Metern, ſo daß ihr Widerſtand nicht bedeutend war.

Nachdem der Verſuchsdraht bei H gehörig eingeſchaltet und alle übrigen Verbindungen gehörig hergeſtellt waren, wurde bei Q geſchloſſen, und nachdem die Buſſolennadel zur Ruhe gekommen war, gleichzeitig ihre Ablenkung und die Glüherſcheinung des Drahtes beobachtet.

Der Gang der Verſuche wird aus den folgenden Tabellen, welche die Beobachtungsreſultate enthalten, von ſelbſt klar werden.

Die drei erſten Verſuchsreihen wurden mit Platindraht von 0,45^{mm} Durchmeſſer angeſtellt.

1ſte Reihe:

Säule von 40 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
1,5 Meter	45°	0
1,3 »	46	ſchwaches Glühen an einigen Stellen.
1,1 »	47	ſchwaches Glühen der ganzen Länge nach.
1,0 »	48	Rothglühen.
0,8 »	50	Hellrothglühen.
0,5 »	56	faſt Weißglühen.

2te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
0,6 Meter	44°	0
0,5 »	45	ſchwaches Glühen an einzelnen Stellen.
0,4 »	46	desgl. ſtärker.
0,3 »	48	Rothglühen der ganzen Länge nach.
0,1 »	51	Hellrothglühen.

3te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
0,3 Meter	46°	ſchwaches Glühen faſt der ganzen Länge nach.
0,3 »	47	ſchwaches Glühen der ganzen Länge nach.
0,2 »	48	Rothglühen.
0,1 »	50	Hellrothglühen.

Zwei Verſuchsreihen mit einem Eiſendraht von 0,42^{mm} Durchmeſſer geben folgende Reſultate:

4te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge	Ablenkung der Tangentenbuſſole	Glüherſcheinung
1^m	32°	Stellweiſes Glühen
0,8	33	Noch nicht der ganzen Länge nach
0,6	34	Rothglühen
0,4	35	Hellrothglühen
0,3	—	abgeſchmolzen.

5te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

0,5	32	Stellenweiſe
0,4	33	desgl. ſtärker
0,2	35	ſtark Rothglühen
0,1	—	abgeſchmolzen.

Bei den Verſuchen mit Eiſendraht iſt zu bemerken, daß bei jedem einzelnen Verſuch ein neues Stück Eiſendraht eingeſchaltet wurde, weil durch das Glühen die Oberfläche oxydirt, alſo der Draht verändert wird.

Dieſe Verſuche zeigen uns, daß ein und derſelbe Draht dieſelbe Glüherſcheinung bei derſelben Stromſtärke zeigt, welche Länge er auch haben mag.

Für den Platindraht von $0{,}45^{mm}$ Durchmeſſer tritt ein ſtellenweiſes Glühen bei einer Stromſtärke ein, welche der Ablenkung von 45 bis 46° entſpricht. Mit 40 Elementen bewirkt man dieſe Wirkung an einem Drahtſtück von 1,3 Metern, mit 24 Bechern an einem 0,5 Meter, und mit 12 Bechern an einem 0,4 Meter langen Drahtſtück.

Das Rothglühen tritt in allen drei Verſuchsreihen bei einer Stromſtärke von 48 Graden auf, während bei der erſten die Drahtlänge 1^m, bei der zweiten $0{,}3^m$ und bei der dritten 0,2 Meter beträgt.

Das Hellrothglühen tritt bei einer Stromſtärke von 50 bis 51° auf.

Ganz ähnlich ſind die Reſultate, welche die Verſuche mit dem Eiſendraht geben. Stellenweiſes Glühen findet bei einer Stromſtärke von 32 bis 38° ſtatt, ſtarkes Rothglühen bei 35°.

Dieſe Verſuche zeigen alſo keine ſolche Sonderbarkeit, wie ſie Caſſelmann anführt. Leider hat er keine nähere Angaben gemacht, aus welchen ſich etwa der Grund der von ihm beobachteten Abnormität erklären ließe; ich vermuthe aber, daß ſie in der ſtarken Wärmeableitung durch Metallmaſſe der Drahtklemmen ihren Grund hat, welche bei bedeutend kürzeren Drähten einen ſehr merklichen Einfluß ausübt.

Caſſelmann wandte einen Drahthalter an, welcher dem oben in Fig. 140 abgebildeten ähnlich iſt. Beobachtet man einen in demſelben befeſtigten Draht während er glüht genauer, ſo ſieht man, daß er in unmittelbarer Nähe der Einklemmſtellen weit ſchwächer glüht als in der Mitte; verkürzt man nun den Draht ſo weit, daß der abkühlende Einfluß der Klemmen ſich bis in die Mitte des Drahtes erſtreckt, ſo iſt es wohl erklärlich, wie durch Verkürzung des Drahtes endlich eine Verminderung der Glüherſcheinung eintritt, wie dies auch aus folgender Beobachtung hervorgeht.

Ein Platindraht von 0,21^{mm} Durchmeſſer wurde in den Schließungsbogen eines einfachen Zinkkohlenbechers gebracht. Bei einer Länge von 3 Centimeter wurde er ſchwach glühend, während die Tangentenbuſſole 26^0 zeigte; als aber derſelbe Draht bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, fand bei einer Stromſtärke von 34^0 kein Glühen mehr ſtatt.

Als ſtatt des einen Elementes zwei Bunſen'ſchen Becher angewandt wurden, erhielt man für die beiden Drahtlängen von 3 und 1 Centimeter vollkommen gleiche Glüherſcheinung, obgleich die entſprechende Ablenkung für den erſteren Fall 34, für den letzteren (den kürzeren Draht) 44 Grade betrug.

157 **Beziehungen zwiſchen Dicke und Stromſtärke bei galvaniſch glühenden Metalldrähten.** Die obigen Verſuche geben über das Verhältniß zwiſchen Stromſtärke und Durchmeſſer der Drähte, wie es einem beſtimmten Grade des Glühens entſpricht, noch keine Auskunft, weil nur die Länge, nicht der Durchmeſſer der Drahtſtücke variirt wurde.

Die folgende Tabelle giebt die Reſultate einer Verſuchsreihe, welche mit Platindrähten von 1 Decimeter Länge und veränderlichem Durchmeſſer angeſtellt wurden.

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,3^{mm}	ſchwaches Glühen	34^0	47,18	163,9
»	Rothglühen	36	50,82	169,4
»	Hellrothglühen	38	54,67	182,2
»	ſehr Hellglühen	42	63,00	210,0
0,39^{mm}	ſchwaches Glühen	43^0	65,24	163,7
»	Rothglühen	46	72,45	185,5
»	Hellglühen	48	77,77	199,5
*0,45^{mm}	ſchwaches Glühen	47^0	75,06	166,6
»	Rothglühen	48	77,77	172,2
»	Hellrothglühen	50,3	84,42	187,6
»	faſt Weißglühen	56	103,74	230,3

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70 . tang. v$	$\frac{s}{D}$
0,75mm	Rothglühen	60°	121,24	161,7
„	Hellrothglühen	66	157,22	209,3.

Die mit * bezeichnete Abtheilung iſt den früheren, auf Seite 386 angeführten Verſuchsreihen entnommen.

Dieſe Verſuchsreihe rechtfertigt die Annahme, daß, um denſelben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromſtärke dem Durchmeſſer der Drähte proportional wachſen muß; nach dieſem Geſetze muß für denſelben Grad des Glühens der Quotient der Drahtdicke in die entſprechende Stromſtärke, eine conſtante Größe ſeyn. Dieſer Quotient findet ſich in der letzten Columne der vorigen Tabelle. Es iſt demnach:

Für ſchwaches Glühen:

Beim Durchmeſſer		Abweichung vom Mittel.
0,3	163,9	— 0,8
0,39	163,7	— 1,0
0,45	166,6	+ 1,9
	Mittel 164,7.	

Für Rothglühen:

0,3	169,4	— 2,8
0,39	185,5	+ 13,3
0,45	172,2	0
0,75	161,7	— 10,5
	Mittel 172,2.	

Für helles Rothglühen:

0,3	182,2	— 12,4
0,39	199,5	+ 4,9
0,45	187,6	— 7,0
0,75	209,3	+ 14,7
	Mittel 194,6.	

Sehr helles Rothglühen, faſt Weißglühen:

0,3	210	— 10
0,45	230	+ 10
	Mittel 220.	

Die Abweichungen vom Mittel ſind ſowohl der Größe, als auch dem Zeichen nach ſo unregelmäßig vertheilt, daß man ſie wohl ohne Anſtand

Beobachtungsfehlern zur Laſt legen kann. Daß dieſe Abweichungen etwas groß ſind, ſie wechſeln bis zu 7 Procent des entſprechenden Quotienten, iſt ſehr begreiflich, wenn man bedenkt, daß die Grade des Glühens nicht gemeſſen, ſondern nur geſchätzt ſind.

Eine, der eben beſprochenen ähnlichen Verſuchsreihe mit Eiſendraht, gab folgende Reſultate:

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s=70 . tang. v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	19°	24,08	120,4
»	Roth	20	25,41	127,0
0,255	Schwach	24	31,15	122,1
»	Roth	25	32,62	127,9
0,38	Schwach	34	47,18	124,1
»	Roth	38	55,67	146,1
0,75	Schwach	52	89,6	119,4
»	Roth	56	103,74	131,3

Es iſt demnach der Quotient $\frac{s}{D}$:

Für Schwachglühen:

Beim Durchmeſſer		Abweichung vom Mittel
0,2	120,4	— 1,1
0,255	122,1	+ 0,6
0,38	124,1	+ 2,6
0,75	119,4	— 2,1
	Mittel 121,5.	

Für Rothglühen:

0,2	127,0	— 7,8
0,255	127,9	— 6,9
0,38	146,1	+ 11,3
0,75	138,3	+ 3,5
	Mittel 134,8.	

Dieſe Verſuchsreihe beſtätigt alſo die Reſultate, welche aus den mit Platindraht angeſtellten Verſuchen gezogen worden waren.

Mit Kupferdraht wurden folgende Reſultate erhalten:

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	48	77,77	388,8
»	Roth	52	89,60	448,0
0,255	Roth	59	116,48	418,3
	Mit Silberdraht:			
0,2	Roth (nach einiger Zeit abgeſchmolzen)	51	86,45	432,2
0,255	Schwach	57	107,80	422,7.

Vergleichung der Geſetze des galvaniſchen Glühens mit den 158
Lenz'ſchen Erwärmungsgeſetzen. Nach den von Lenz ermittelten Geſetzen wächſt die in einem Metalldrahte frei werdende Wärmemenge im Verhältniß des Quadrats der Stromſtärke und im Verhältniß des Leitungswiderſtandes des Drahtes. — Bei gleicher Länge ändert ſich aber oben der Leitungswiderſtand im umgekehrten Verhältniß des Quadrats des Durchmeſſers.

Wenn alſo unter ſonſt gleichen Umſtänden die Stromſtärke in demſelben Verhältniſſe wächſt wie die Drahtdicke, ſo muß die entwickelte Wärmequantität unverändert bleiben.

Wenn aber in einem dickeren Drahte eben ſo viel Wärme entwickelt wird als in einem dünneren, ſo ſollte man allerdings erwarten, daß der dickere nicht denſelben Grad des Glühens erreichen könne wie der dünnere, weil in dieſem Falle der dickere Draht mehr Wärme an die Umgebung abgiebt; um gleichen Grad des Glühens in einem $n$fach dickeren Drahte zu erhalten, ſollte man alſo wohl einen mehr als $n$mal ſtärkeren Strom anwenden müſſen, während nach den obigen Verſuchen ein $n$facher Strom dazu genügt.

Beſtimmen wir dies Verhältniß etwas näher. Nach den Oben beſprochenen Unterſuchungen von Lenz iſt die Wärmeentwickelung, welche ein galvaniſcher Strom in Metalldrähten hervorbringt, dem Quadrat der Stromſtärke und dem Leitungswiderſtand des Drahtes proportional; wir könnnen demnach

$$W = s^2 l \;.\;.\;.\;.\;.\; 1)$$

ſetzen, wenn wir mit W die Wärmemenge bezeichnen, die in einem Drahte (innerhalb einer gegebenen Zeit) entwickelt wird, deſſen Widerſtand l iſt, wenn die Stromſtärke s hindurchgeht. Es ſey nun W die Wärmemenge, welche in einer gegebenen Zeit in dem Drahte entwickelt werden muß,

wenn er rothglühend werden ſoll. — Wird nun der Draht durch einen gleichlangen, aber $n$mal dickeren Draht deſſelben Metalles erſetzt, ſo wird die Oberfläche dieſes neuen Drahtes $n$mal ſo groß ſein, die $n$fache Oberfläche giebt caeteris paribus $n$mal ſo viel Wärme an die Umgebung ab, es muß alſo $n$mal ſo viel Wärme, alſo $n\,W$, in dem dickeren Draht entwickelt werden, wenn er die gleiche Glüherſcheinung hervorbringen ſoll.

Der Leitungswiderſtand des $n$mal dicken Drahtes iſt aber $\frac{l}{n^2}$. Bezeichnen wir mit s' die Stromſtärke, welche ihn rothglühend macht, ſo haben wir alſo die Gleichung

$$n\,W = s'^2\,\frac{l}{n^2} \ldots\ldots$$

alſo

$$W = s'^2\,\frac{l}{n^3} \ldots\ldots 2)$$

und durch Combination der Gleichungen 1) und 2)

$$s'^2 = n^3\,s^2$$

oder

$$s' = s\,\sqrt{n^3} \ldots\ldots 3)$$

um alſo einen doppelt und dreimal ſo dicken Draht glühend zu machen, hätte man dieſer Betrachtung zufolge einen 2,83 und einen 5,19mal ſtärkeren Strom nöthig, während meinen Beobachtungen zufolge ein 2mal und ein 3mal ſo ſtarker Strom dazu hinreicht; kurz meiner Beobachtung zufolge müßte zwiſchen s' und s anſtatt der Gleichung 3) die Gleichung

$$s' = ns$$

beſtehen. — Die Abweichungen ſind viel zu bedeutend, als daß ich glaube ſie auf Koſten von Beobachtungsfehlern ſetzen zu dürfen.

Wie dieſer Widerſpruch zu löſen ſey, muß ich vor der Hand unentſchieden laſſen; es wäre wohl denkbar, daß bei dickeren Drähten und gleicher Stromſtärke die äußerſte Oberfläche allerdings eine ſoviel niedrigere Temperatur annehme, daß der Wärmeverluſt nicht größer iſt als bei einem dünnen Drahte, daß aber nach Innen die Temperatur ſo raſch wächſt, daß die äußeren kälteren Schichten das Anſehen des Drahtes nicht zu ändern vermögen. — Geringe Differenzen werden durch die mangelhafte Schätzung des Glühens maskirt, es läßt ſich alſo erwarten, daß ſich Abweichungen von dem Oben entwickelten Geſetz in Beziehung auf die Dicke ergeben werden, wenn man den Durchmeſſer mehr variiren läßt, als es im obigen Verſuchen der Fall war. — Ich beabſichtige dieſen Gegenſtand weiter zu verfolgen.

Die Geſetze des galvaniſchen Glühens und die des Glühens der Metalldrähte durch den Entladungsſchlag der Leidner Flaſche, weichen durch-

aus von einander ab; während die Stromſtärke in gleichem, oder doch nahezu in gleichem Verhältniſſe wachſen muß wie der Durchmeſſer, muß beim Entladungsſchlag der Flaſche die Ladung im Verhältniß der 4ten Potenz des Durchmeſſers wachſen, wenn der Grad des Glühens derſelbe bleiben ſoll. Dieſer Unterſchied zeigt ſchon, daß das galvaniſche Glühen weſentlich anderer Natur iſt, als das durch den Entladungsſchlag der Flaſche hervorgebrachte.

Beſtimmung der Volta'ſchen Combination, welche man zum 159
Glühendmachen gegebener Metalldrähte anwenden muß. — Die oben erhaltenen Mittelwerthe des Quotienten $\frac{S}{D}$ geben die Größe der Stromſtärke an, welche nöthig iſt, um einen Draht von 1^{mm} Durchmeſſer in den entſprechenden Glühzuſtand zu verſetzen.

Es iſt alſo nöthig, um einen Platindraht von 1^{mm} Durchmeſſer
schwachglühend zu machen, die Stromſtärke . . . 165
rothglühend » » » » . . . 172
faſt Weißglühend » » » . . . 220.

Es bedarf, um einen Eiſendraht von 1^{mm} Durchmeſſer
ſchwachglühend zu machen, der Stromſtärke . . . 121
rothglühend » » » » . . . 135.

Um einen Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer rothglühend zu machen, bedarf man der Stromſtärke 433; für Silber iſt dieſer Werth 432.

Dieſe Zahlenwerthe betrachte ich ſelbſt nur als erſte Annäherungen.

Bezeichnet s die Stromſtärke, welche nöthig iſt, um einen Draht von 1^{mm} Durchmeſſer bis zu einem gewiſſen Grade glühend zu machen, ſo iſt $s.d$ die Stromſtärke, welche nöthig iſt, um einen Draht deſſelben Metalls glühend zu machen, welcher den Durchmeſſer d hat.

Iſt einmal die Stromſtärke a bekannt, welche nöthig iſt, um ein Drahtſtück von gegebenem Durchmeſſer auf einen gewiſſen Grad glühend zu machen, und der Leitungswiderſtand r, welchen das Drahtſtück ſammt dem übrigen Schließungsbogen ausübt, ſo iſt es leicht zu berechnen, welche Combination Volta'ſcher Elemente von bekannter Natur man zu dieſem Zwecke anwenden muß.

Es ſei e die elektromotoriſche Kraft, w der weſentliche Widerſtand eines der disponiblen Becher. Man hat ſie ſo zu combiniren, daß ſie eine Säule von n Elementen bilden, von denen jedes aus m nebeneinander ſtehenden Bechern gebildet wird. Es ſind nun die Werthe von n und m zu beſtimmen.

Die Becher müſſen ſo combinirt werden, daß der Widerſtand der Säule

dem Widerſtande des Schließungsbogens gleich iſt, der Geſammtwiderſtand muß alſo $2r$ ſeyn. Wir haben alſo

$$\frac{ne}{2r} = a,$$

und

$$n = \frac{2\,r\,a}{e}.$$

Der weſentliche Widerſtand unſerer Säule iſt aber

$$\frac{n}{m}\,w = r,$$

alſo

$$m = \frac{n}{r}\,w,$$

und wenn man für n ſeinen Werth ſetzt

$$m = \frac{2\,w\,a}{e}.$$

Man will z. B. einen Platindraht von 1,5 M. Länge und $0{,}5^{\text{mm}}$ Durchmeſſer rothglühend machen, wieviel Bunſen'ſche Becher von der elektromotoriſchen Kraft 800, und dem Widerſtand 10 muß man anwenden, und wie muß man ſie combiniren?

Der Leitungswiderſtand eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmeſſer und 1,5 Meter Länge iſt 1,5. Der eines gleichen Platindrahtes iſt $5 . 1{,}5 = 7{,}5$. Der Widerſtand eines halb ſo dicken Drahtes iſt aber 4mal ſo groß, alſo 30. — Dies wäre der Leitungswiderſtand des Drahtes bei gewöhnlicher Temperatur; bei der Rothglühhitze iſt er mindeſtens doppelt ſo groß, alſo 60. Nehmen wir an, der Leitungswiderſtand des übrigen Schließungsbogens könne gegen dieſen vernachläſſigt werden, ſo haben wir $r = 60$; ferner iſt für unſern Fall $a = 172 . 0{,}5 = 86$. Es iſt alſo

$$\frac{n . 800}{120} = 86, \text{ alſo } n = 12{,}9,$$

$$\frac{12{,}9}{m}\,10 = 60, \text{ alſo } m = 2{,}1,$$

man wird alſo eine Säule von 13 Doppelelementen anwenden müſſen.

Man erſieht aus dieſem Beiſpiel, daß die Anordnung bei den auf Seite 386 angeführten Verſuchen eben nicht die vortheilhafteſte war.

Wollte man einen Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer und 0,5 Meter Länge rothglühend machen, ſo wäre der Widerſtand dieſes Drahtes gleich 1, wenn wir annehmen, daß der Widerſtand des Kupferdrahtes bei der Glühhitze doppelt ſo groß iſt als bei gewöhnlicher Temperatur; wenn der übrige Leitungswiderſtand des Schließungsbogens auch gleich 1 iſt, ſo iſt

der Geſammtwiderſtand im Schließungsbogen $= 2$, a iſt aber für dieſen Fall 433, folglich

$$n = 2{,}16,\ m = 10{,}8.$$

Man hätte alſo eine Säule von 2 Elementen anzuwenden, von denen jedes aus 11 Bechern beſteht.

Man müßte die Leitungswiderſtände der Metalle für die Glühhitze genauer kennen, wenn dieſe Berechnungen einen größeren Grad von Genauigkeit erreichen ſollten.

Im Allgemeinen wird man mehr Becher hinter einander anwenden müſſen, wenn man längere und ſchlecht leitende, mehr Becher neben einander, wenn man dickere und gut leitende Drähte glühend machen will.

Glühen von Metalldrähten in verſchiedenen Gaſen. Grove 160
hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, daß ein in atmoſphäriſcher Luft voltaiſch erglühender Platindraht ſcheinbar erlöſcht, wenn man eine Glocke mit Waſſerſtoff darüber ſtürzt. (Phil. Transact. f. 1847 pt. 1. P. A. LXXI, 196). Da der Leitungswiderſtand eines ſtärker glühenden Drahtes größer iſt als der eines ſchwächer glühenden, ſo war zu erwarten, daß caeteris paribus derſelbe Draht in Waſſerſtoff einen ſtärkeren Strom leiten wird, als in atmoſphäriſcher Luft.

Grove prüfte nun dieſe Conſequenz auf folgende Weiſe; in den Schließungsbogen einer conſtanten Batterie wurde außer einem Platindraht, den man bequem mit einer Atmoſphäre verſchiedener Gaſe umgeben konnte, noch ein Voltameter eingeſchaltet. Je nachdem ſich nun der Platindraht in dem einen oder dem andern Gaſe befand, war die Stärke des Glühens ſehr verſchieden, gleichzeitig änderte ſich aber auch die Stärke der Waſſerzerſetzung im Voltameter in der Weiſe, daß man in gleicher Zeit um ſo mehr Knallgas erhielt, je ſchwächer das Glühen des Drahtes war. Folgendes iſt die Menge von Knallgas, welche das Voltameter in 1 Minute lieferte, wenn der Platindraht in einer Atmoſphäre von nachbenannten Gaſen ſich befand.

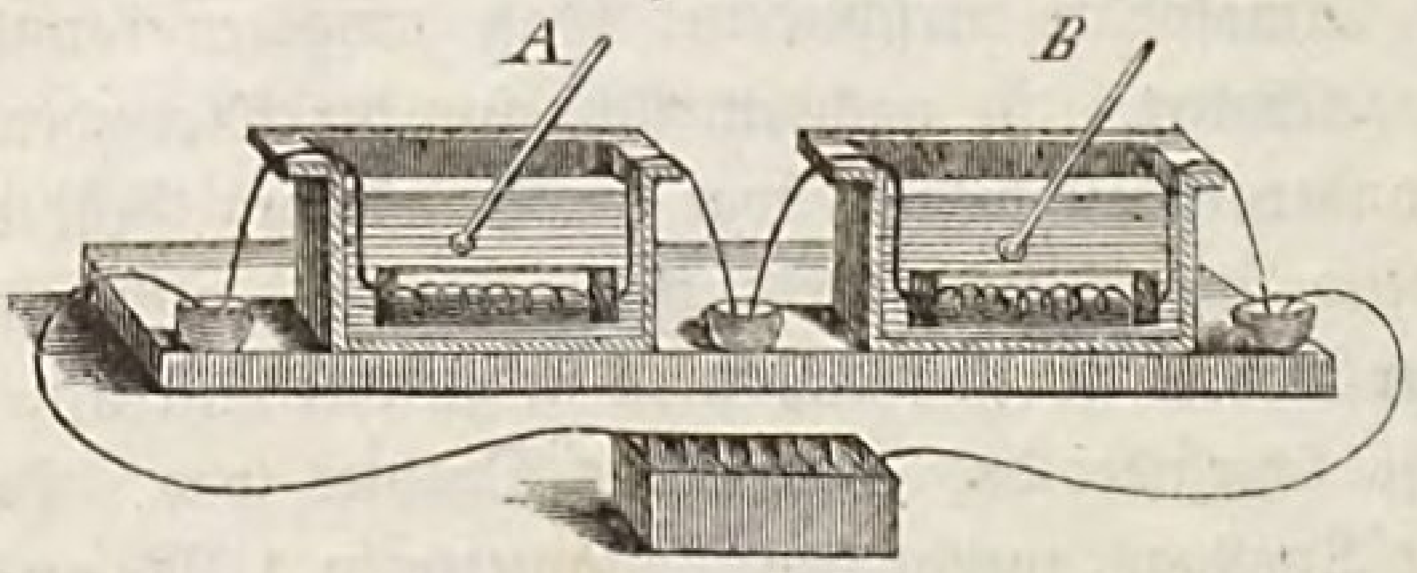
In Waſſerſtoffgas	7,7	Kubikzoll
Oelbildenden Gas	7,0	»
Kohlenoxydgas	6,6	»
Kohlenſäure	6,6	»
Sauerſtoff	6,5	»
Stickgas	6,4	»
Atmoſphäriſcher Luft	6,4	»
desgl. doppelt verdichtet	6,5	»
desgl. verdünnt	6,3	»
Chlorgas	6,1	».

Mit dem Leuchten des Drahtes iſt auch die in demſelben erzeugte Wärme größer, wie folgender Verſuch zeigt: Die Kugel eines Thermometers war in einem beſtimmten Abſtande von einem Drahtgewinde angebracht, welches durch eine Batterie von 4 Zellen ins Glühen verſetzt wurde. Als ſich das Drahtgewinde in atmoſphäriſcher Luft befand, ſtieg das Thermometer in 5 Minuten um 15°, als aber die atmoſphäriſche Luft durch Waſſerſtoffgas erſetzt wurde, betrug das Steigen in gleicher Zeit nur 7,5°.

Poggendorff ſpricht in einer Anmerkung die Meinung aus, daß die Erſcheinung wohl mit der ſchon von Dulong und Petit gemachten Beobachtung zuſammenhängen könne, daß ein erhitzter Körper im Waſſerſtoff ſchneller erkalte als in atmoſphäriſcher Luft. Mir ſcheint dieſe Anſicht unzuläſſig; wenn der Draht in Waſſerſtoffgas die in ihm entwickelte Wärme ſchneller abgiebt, ſo müßte das Thermometer ſtärker ſteigen, wenn ſich das Drahtgewinde in dieſem Gas befindet, vorausgeſetzt, daß gleich viel Wärme durch den Strom im Draht erzeugt wird, gleichgültig in welchem Gas er ſich befindet.

Entſcheidend iſt jedoch dieſer Verſuch noch nicht, unzweideutig aber ſpricht gegen die von Poggendorff angedeutete Erklärung ein Verſuch, den Grove in einem ſpäteren, über denſelben Gegenſtand handelnden Aufſatze beſchreibt. (Phil. Magazine XXXV, 114 P. A. LXXVIII, 366.) Zwei Glasröhren *A* und *B* Fig. 141, von 1,5 Zoll Länge und 0,3 Zoll innerem Durchmeſſer, waren an beiden Enden durch Korke verſchloſſen, in welche Kupferdrähte hineinreichten, deren Enden durch einen ſchraubenförmigen Platindraht von $1/80$ Zoll Durchmeſſer und 3,7 Zoll Länge verbunden waren. Die Röhre *A* war mit Sauerſtoff, *B* mit Waſſerſtoff gefüllt, und beide ſo zubereitete Röhren waren in zwei getrennte, einander in jeder Beziehung ähnliche Gefäße getaucht, die 3 Unzen Waſſer enthielten. In das Waſſer eines jeden Gefäßes wurde ein Thermometer gebracht, und die Kupferdrähte ſo verbunden, daß ſie hintereinander den Schließungsbogen einer conſtanten Zinkplatinbatterie von 8 Zellen, jede von 8 Quadratzoll wirkende Oberfläche bildeten.

Fig. 141.



Als die Kette geſchloſſen wurde, gerieth der von Sauerſtoffgas umgebene Draht ins Weißglühen, während der in Waſſerſtoffgas befindliche nicht ſichtbar glühte. Die Temperatur des Waſſers, die zu Anfange des Ver-

ſuchs in jedem Gefäße 60° F. betrug, ſtieg innerhalb 5 Minuten in dem die Waſſerſtoffröhre umgebenden Waſſer auf 70° F., in dem die Sauerſtoffröhre umgebenden Waſſer auf 81° F.

Als beide Röhren mit gleichen Gaſen gefüllt waren, ſtieg das Thermometer in beiden Gefäßen gleich hoch.

Dieſer Verſuch beweiſt entſchieden, daß das ſchwächere Glühen des Drahtes in Waſſerſtoff bei vollkommen gleicher Stromſtärke nicht etwa darin zu ſuchen iſt, daß das Waſſerſtoffgas dem Drahte ſeine Wärme ſchneller entzieht, ſonſt müßte ja gerade das Waſſer ſich ſchneller erwärmen, welches die Waſſerſtoffröhren umgiebt. Alles deutet darauf hin, daß in dem Drahte, wenn er von Waſſerſtoffgas umgeben iſt, wirklich eine geringere Wärmeproduction ſtattfindet.

Grove hat bewieſen, daß dieſe Erſcheinung nicht etwa von einer ſchwachen Elektricitätsleitung durch das Waſſerſtoffgas herrühre; ebenſo hat er gezeigt, daß ſie mit den ſonſtigen phyſikaliſchen Eigenſchaften der Gaſe, Dichtigkeit, ſpecifiſche Wärme u. ſ. w. nicht in Verbindung zu bringen iſt.

Was die Erklärung dieſer eigenthümlichen Thatſache betrifft, ſo giebt ſich Grove viel vergebliche Mühe, ihr eine für das Verſtändniß zugängliche Seite abzugewinnen, und unbegreiflicher Weiſe kommt er ſelbſt im Verlaufe ſeiner etwas breiten und dunklen Betrachtungen zu der Vermuthung, als ob die Verſchiedenheit der Gaſe wohl ähnlich wirken könne wie eine Verſchiedenheit in der Oberflächenbeſchaffenheit. Es würde dies im Weſentlichen mit der oben beſprochenen Pogendorff'ſchen Anſicht zuſammenfallen. Als Poggendorff dieſe Anſicht ausſprach, war der Verſuch mit den zwei Glasröhren Fig. 141, welcher am entſchiedenſten gegen eine ſolche Annahme ſpricht, noch nicht bekannt; Grove aber ſpricht ſich für dieſelbe aus, nachdem er kaum ſelbſt den Verſuch angeſtellt und beſchrieben hat, welcher die Unzuläſſigkeit dieſer Erklärungsbaſis darthut, welcher beweiſt, daß ſich die Erſcheinung nicht auf Differenzen in den Wärmeleitungs- und Strahlungsverhältniſſe zurückführen läßt.

Nach meinem Dafürhalten ſteht die Erſcheinung noch ganz iſolirt, und völlig unerklärt da. — Ich halte es nicht für förderlich in ſolchen Fällen, unſere Unwiſſenheit durch gedehnte Betrachtungen zu verſchleiern, in denen der phyſikaliſche Sündenbock unſerer Tage, die Molecularwirkung, eine Hauptrolle ſpielen muß.

Einwirkung glühender Platindrähte auf verſchiedene Gaſe. 161
Es iſt eine bekannte Thatſache, daß mehrere zuſammengeſetzte Gasarten in glühenden Röhren eine Zerſetzung erleiden. Aehnliche Wirkungen hat nun Grove durch die Einwirkung glühender Platindrähte auf ſolche Gaſe hervorgebracht. (Phil. Trans. f. 1847 pt. 1; P. A. LXXI, 194.) Folgende ſind die Apparate, deren er ſich zu dieſem Zwecke bediente.

In das obere Ende einer Eudiometerröhre, Fig. 142, war ein Büge von Platindraht eingeſchmolzen, von deſſen beiden Enden Kupferdrähte zu den beiden Queckſilbernäpfchen führten, welche die Poldrähte der Batterie aufnahmen. — Das zu unterſuchende Gas war durch Waſſer geſperrt, und um eine zu ſtarke Erhitzung des Glaſes zu vermeiden, war die ganze Eudiometerröhre in ein weiteres, mit Waſſer gefülltes Gefäß getaucht. Das Waſſer wurde zuweilen mit einer zolldicken Oelſchicht übergoſſen.

Fig. 142.

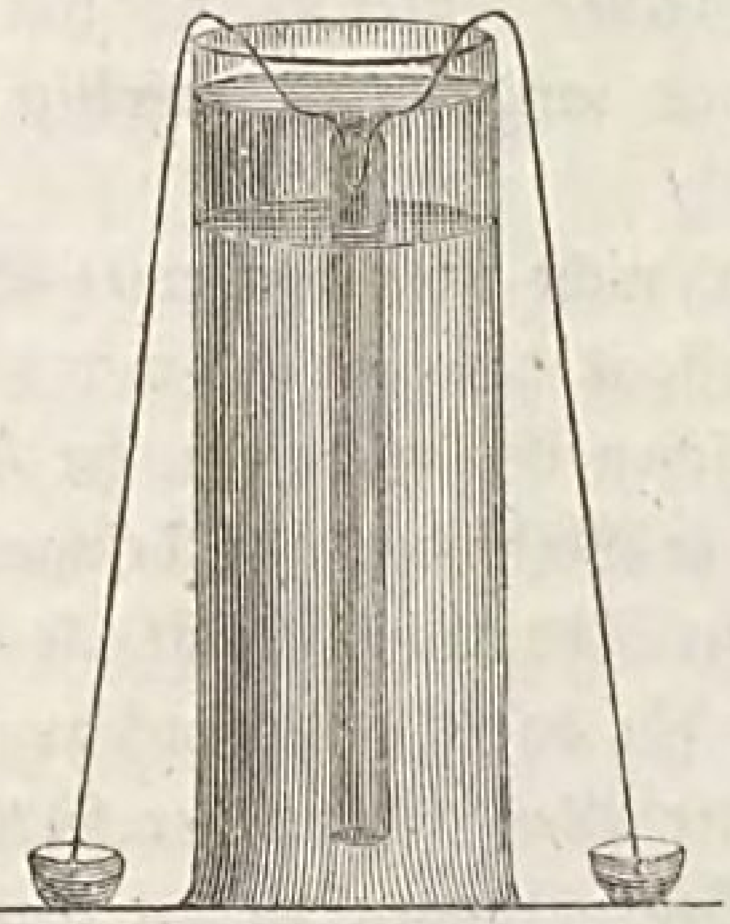
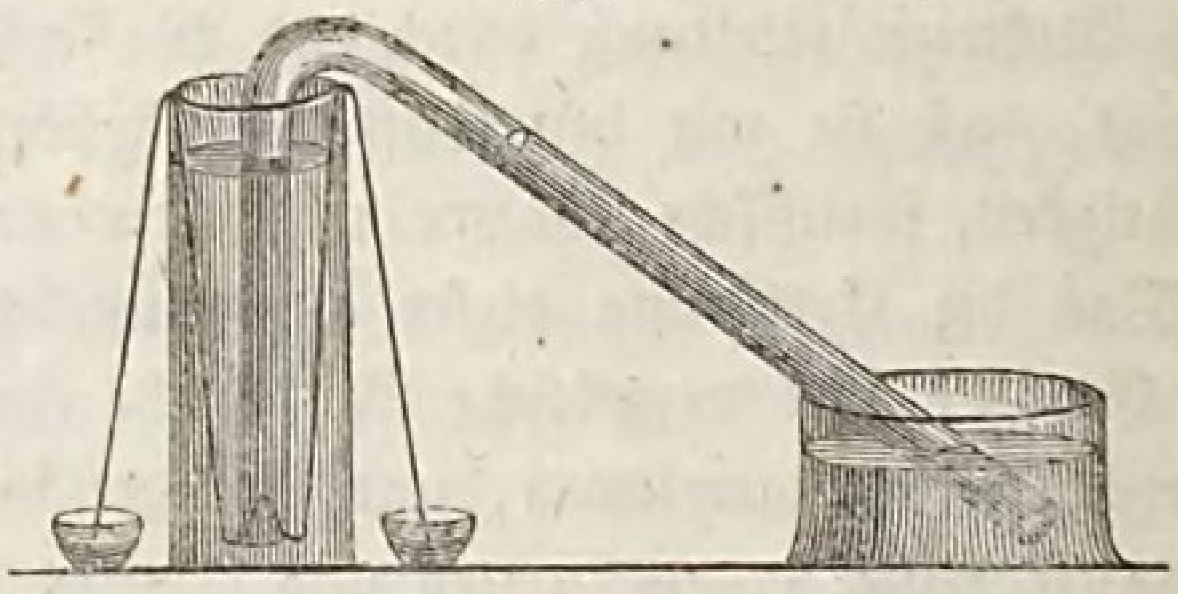


Fig. 143.



Wenn die Gaſe durch Queckſilber abgeſperrt ſeyn mußten, oder wenn ein längeres Glühen nöthig war, ſo wurde der Apparat Fig. 143 angewandt. Die Eudiometerröhre iſt hier gebogen, das verſchloſſene Ende derſelben, welches den Platindraht enthält, iſt nach Unten gekehrt in ein mit Waſſer oder Oel gefülltes Gefäß getaucht, das offene Ende aber mündet in ein Gefäß mit Waſſer oder Queckſilber, welches die Sperrflüſſigkeit bildet. Mit dieſen Apparaten wurden nun folgende Reſultate erhalten.

Stickſtoffoxyd zog ſich über deſtillirtem Waſſer im Verhältniß zur Hitze verſchieden ſtark zuſammen. (Es verſteht ſich, daß die Meſſung des Volumens erſt nach vollſtändiger Erkaltung vorgenommen wurde.) Bei den beſten Verſuchen betrug die Zuſammenziehung $1/3$ des urſprünglichen Volumens. Das rückſtändige Gas war Stickſtoff, im Waſſer fand ſich Salpeterſäure aufgelöſt.

Stickſtoffoxydul wurde in Stickſtoff und Sauerſtoff zerlegt; das Volumen vergrößerte ſich um 0,35 des anfänglichen. Die volle Vergrößerung um 0,5 konnte nicht erreicht werden.

Kohlenſäure erlitt keine wahrnehmbare Veränderung.

Ammoniak vergrößerte ſich zum doppelten ſeines urſprünglichen Volumens; das Gas war nun nicht mehr von Waſſer verſchluckbar, und beſtand aus 3 Vol. Waſſerſtoff und 1 Vol. Stickſtoff.

Oelbildendes Gas zog ſich etwas zuſammen und ſetzte Kohle ab.

Der Rückſtand war Waſſerſtoff und ölbildendes Gas; je größer die Hitze, deſto mehr Waſſerſtoff wurde gebildet.

Stickgas blieb unverändert.

Sauerſtoff erlitt eine ſchwache Zuſammenziehung, etwa $^1/_{50}$ ſeines Volumens betragend, was wohl einem geringen Gehalt an Waſſerſtoff zuzuſchreiben iſt.

Chlor gab über Waſſer weiße Dämpfe, und an der Wandung der Röhre, nahe beim Platindraht, ſammelte ſich ein graugelbes unlösliches Pulver, welches einer ſpäteren Unterſuchung zufolge Platinchlorür iſt. Der größere Theil des Chlors verbindet ſich mit dem Waſſerſtoff des Waſſerdampfes und die gebildete Chlorwaſſerſtoffſäure wird vom Waſſer abſorbirt. Am Ende des Verſuches iſt das Gasvolumen faſt auf die Hälfte zurückgeführt und der Rückſtand iſt Sauerſtoff.

Aus Brom und Chlorjod entwickelt ſich Sauerſtoff (wie die Verſuche mit dieſen Körpern angeſtellt wurden, iſt mir nicht recht klar geworden). Der Rückſtand konnte nicht unterſucht werden, da er ſowohl Platin als Glas angriff.

Waſſerſtoffgas ergab eine ſehr bedeutende Zuſammenziehung, die in einigen Fällen bis auf $^1/_{10}$ des urſprünglichen Volumens ſtieg. Die Urſache dieſer Zuſammenziehung iſt eine kleine Menge Sauerſtoff, welche dem Waſſerſtoffgas faſt immer noch beigemiſcht iſt. Phosphor in möglichſt ſorgfältig dargeſtelltes Waſſerſtoffgas gebracht, giebt Dämpfe von phosphoriger Säure, leuchtet im Dunkeln und giebt eine ſchwache Zuſammenziehung. Aber dennoch findet hernach bei Anwendung des glühenden Drahtes eine fernere Zuſammenziehung ſtatt. Der Phosphor kann alſo noch nicht allen Sauerſtoff aus dem Waſſerſtoffgas entfernen.

Nach dieſer Erfahrung zweifelt Grove an der Richtigkeit der bisher ermittelten Werthe für das Atomgewicht des Waſſerſtoffs.

Nach dieſen Verſuchen dürfte es wohl ſehr zweckmäßig ſeyn, bei eudiometriſchen Verſuchen anſtatt des elektriſchen Funkens den galvaniſch-glühenden Platindraht anzuwenden.

Waſſerſtoff und Kohlenſäure zu gleichen Volumen gemengt, wurden durch den glühenden Draht leicht afficirt. Sie zogen ſich zu 0,48 ihres anfänglichen Volumes zuſammen. Der Rückſtand war Kohlenoxydgas. Es hatte ſich demnach 1 Aequivalent Sauerſtoff mit 1 Aequivalent Waſſerſtoff vereinigt.

Kohlenoxydgas zeigte eine merkwürdige Erſcheinung. Rein und ſorgfältig von Kohlenſäure befreit, wurde es über deſtillirtem Waſſer dem glühenden Drahte ausgeſetzt, wobei ſich das Volumen um $^1/_5$ bis $^1/_3$, je nach der Intenſität des Glühens, vermehrte.

Wenn das Gas trocken und durch Queckſilber abgeſperrt war, ſo trat dieſe Vergrößerung des Volumens nicht ein.

Demnach müßte die Erſcheinung von Waſſerdampf herrühren, und in der That ſtellte ſich heraus, daß die Raumvergrößerung durch die Bildung von Kohlenſäure veranlaßt war. — Durch Schütteln mit Aetzkali oder Kalkwaſſer wurde das Gas genau auf ſein urſprüngliches Volum zurückgeführt; allein es zeigte ſich jetzt gemengt mit einem Volum Waſſerſtoff, welches gleich war dem Volum der verſchluckten Kohlenſäure. — Dies erklärt ſich ſo: Es verbindet ſich ein Volum a des vorhandenen Kohlenoxydgaſes mit einem Volum $\frac{a}{2}$ Sauerſtoffgas, welches durch Zerlegung von Waſſerdampf gebildet wurde, und ſo entſteht durch dieſe Verbindung ein Volumen a von Kohlenſäure. — Wenn aber $\frac{a}{2}$ Volumtheile Sauerſtoffgas aus dem Waſſerdampf ausſcheiden, ſo müſſen ſich gleichzeitig a Volumentheile Waſſerſtoffgas gebildet und das Geſammtvolumen des Gasgemenges um a zugenommen haben. — Das Volumen der gebildeten Kohlenſäure (welche durch Aetzkali oder Kalkwaſſer entfernt werden kann) muß gleich ſeyn dem Volum des gebildeten Waſſerſtoffgaſes, wie es der Verſuch auch zeigt.

Vergleicht man dieſen Verſuch mit dem vorigen, ſo muß allerdings die ſonderbare Umkehrung der Verwandtſchaft unter ſo ähnlichen Umſtänden überraſchen: in dem einen Falle war es Waſſerſtoff, welcher der Kohlenſäure Sauerſtoff entzog, um Waſſer zu bilden und Kohlenoxydgas zurückzulaſſen, während im anderen Falle das Kohlenoxydgas dem Waſſerdampf ſeinen Sauerſtoff entzog, um Kohlenſäure zu bilden und Waſſerſtoff zurückzulaſſen.

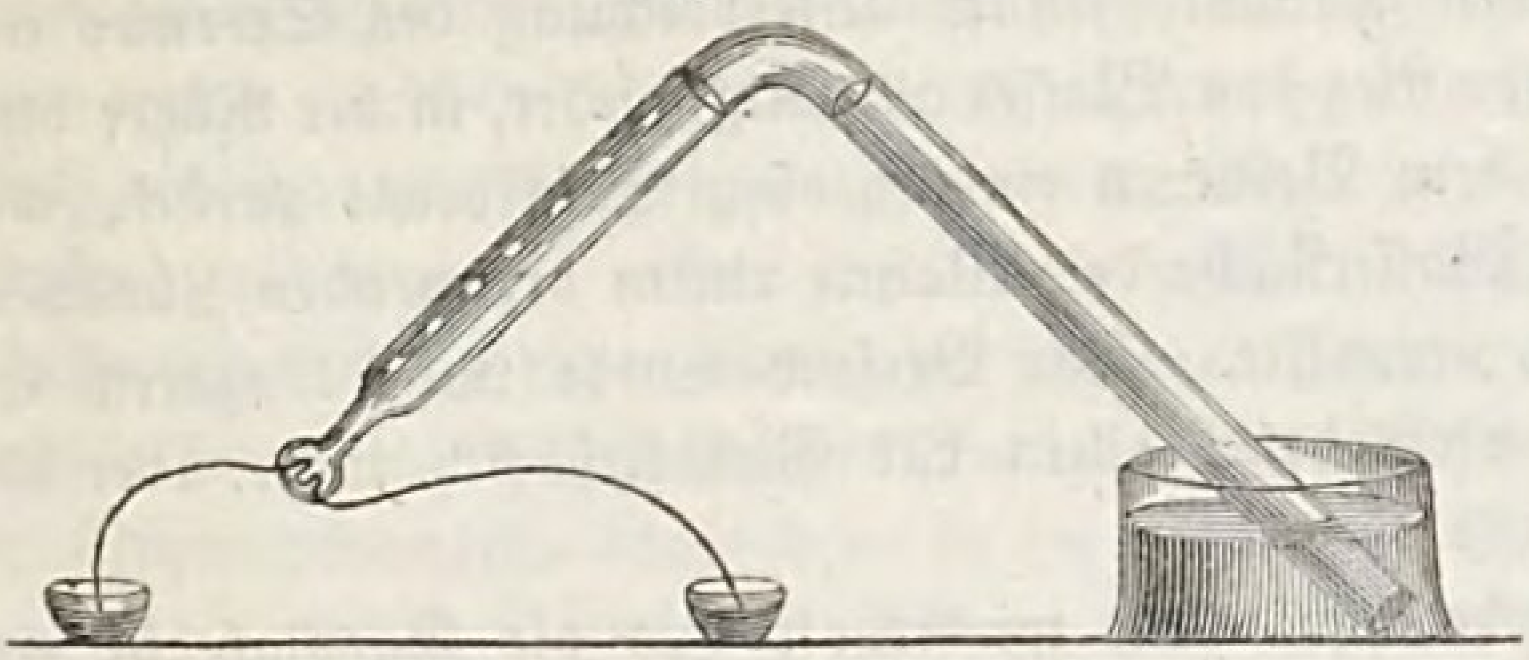
Bis jetzt iſt es noch nicht gelungen, eine nähere Einſicht in dieſe Vorgänge zu erlangen. — Der letzte Verſuch, bei welchem alſo eine Zerlegung von Waſſerdampf ſtattfand, führte Grove zu der Idee, ob es nicht möglich ſey, durch den glühenden Platindraht auch Waſſerdampf zu zerlegen und Knallgas zu bilden, was ihm auch in der That gelang, wie wir in dem folgenden Paragraphen ſehen werden.

162 **Zerlegung des Waſſerdampfes durch den glühenden Platindraht.** Die Zerlegung des Waſſerdampfes in ſeine Beſtandtheile beſpricht Grove in demſelben Aufſatz, welcher über die Einwirkung des glühenden Drahtes auf verſchiedene Gaſe beſpricht. Nach vielen vergeblichen Verſuchen gelang dieſe Zerſetzung durch folgenden Apparat.

Das gebogene an einem Ende offene Glasrohr, Fig. 144 a. folg. S., war an ſeinem andern Ende durch einen engen Hals mit einer Kugel

verbunden, durch welche der Platindraht ſo hindurchgeht, wie die Figur zeigt. — Die ganze Röhre wurde mit luftfreiem Waſſer gefüllt und das offene Ende in ein Gefäß mit Waſſer getaucht. Bei Anwendung einer aus zwei conſtanten Zinkplatinzellen gebildeten Säule wurde zuerſt die Luft in der Kugel ausgedehnt und ausgetrieben, ſo daß nun Waſſer in dieſelbe eintreten konnte, welches bald ins Sieden kam. In einem gewiſſen Zeitpunkt wurde der Draht glühend im Dampf. In dieſem Augenblicke trat eine zitternde Bewegung ein und getrennte nadelknopfgroße Blaſen ſtiegen auf und ſammelten ſich in der Biegung der Röhre. Es war keine ſtetige Gasentwickelung wie bei der Elektrolyſe, ſondern es ſchien eine Reihe raſcher Stöße zu ſeyn; das Waſſer, durch den engen Hals zurückkehrend, bildete eine natürliche Klappe, welche Portionen der Atmoſphäre, welche den Draht umgab, durch intermittirende Wirkung abſchnitt.

Fig. 144.



Das oben geſammelte Gas war Knallgas.

Daß dieſe Knallgasbildung nicht etwa einer Elektrolyſe zugeſchrieben werden könne, hat Grove genügend dargethan; ich hebe unter ſeinen Beweiſen die wichtigſten hervor.

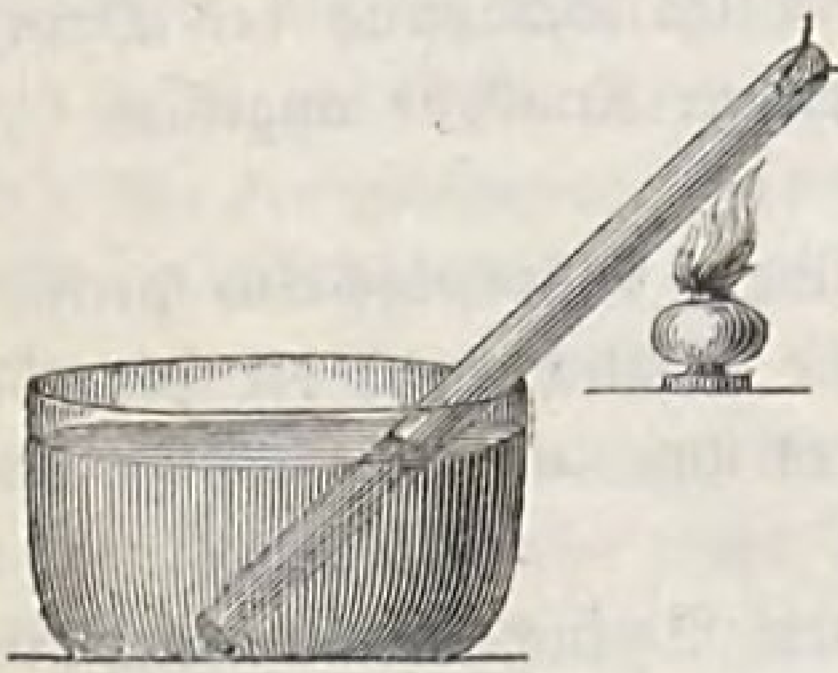
1) In deſtillirtem Waſſer bringt eine Säule von 2 Bechern ſelbſt unter den günſtigſten Bedingungen nur eine kaum merkliche Elektrolyſe hervor.

2) Die Zerſetzung begann erſt, als der Draht glühend wurde.

3) Als der Draht durchſchnitten wurde, fand keine Gasbildung mehr ſtatt.

Grove ging nun zunächſt darauf aus, die Zerſetzung des Waſſerdampfes in einer ſolchen Form zu bewerkſtelligen, daß der glühende Platindraht nur mit Waſſerdampf in Berührung ſeyn konnte. Eine Glasröhre, welche wie die Fig. 145 an ihrem verſchloſſenen Ende einen eingeſchmolzenen Bügel von Platindraht enthält, wurde mit Waſſer gefüllt, welches durch längeres Sieden und Auspumpen möglichſt vollſtändig von Luft befreit worden war, und dann in ein mit gleichem Waſſer gefülltes Gefäß umgekehrt. Eine an das obere verſchloſſene Ende der Röhre

Fig. 145.

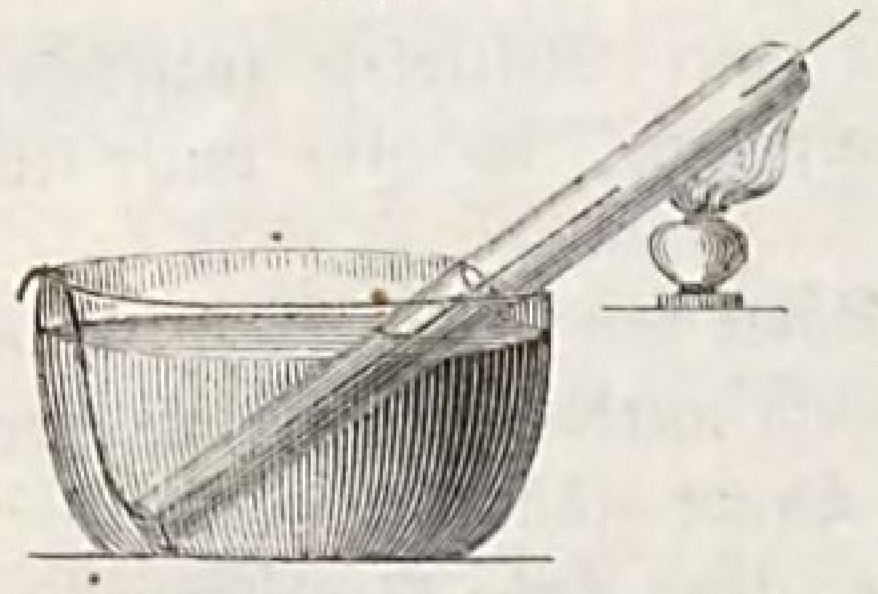


gebrachte Weingeiſtlampe bewirkte, daß ſich daſelbſt Waſſerdämpfe bildeten und der Platindraht nur von Waſſerdampf umgeben war. Der Draht wurde nun ins Glühen gebracht. Nach Unterbrechung des Stromes und Entfernung der Lampe ſtieg das Waſſer allmälig wieder, in der Röhre blieb aber eine Blaſe von dem Volumen eines großen Senfkornes zurück, welches, als es an der Waſſerfläche der Wanne einem brennenden Zündhölzchen genähert wurde, verpuffte. Der Verſuch wurde unter längerem Erglühen des Drahtes wiederholt, allein das Gas ließ ſich nicht über eine ſehr beſchränkte Menge vermehren.

Der Verſuch wurde wie eben wiederholt und die Gasblaſe in eine andere Röhre übergeführt; dann der Draht wiederum im Dampfe zum Glühen gebracht, die ſo gebildete Blaſe abermals entfernt und ſo fort, bis nach etwa 10ſtündiger Arbeit eine zur Analyſe hinreichende Menge Gas vorhanden war. Dies Gas wurde nun in ein Eudiometer gebracht und verpufft; es hinterließ 0,35 ſeines urſprünglichen Volumens und dieſer Rückſtand war Stickgas. Der Verſuch wurde nochmals mit demſelben Erfolge wiederholt; zuweilen enthielt der Rückſtand auch noch etwas Sauerſtoff.

Hier iſt die Elektrolyſe völlig ausgeſchloſſen, der Draht glüht gewiſſermaßen im trockenen Dampfe.

Fig. 146.



Als in dem Apparate, Fig. 146, die Funken einer großen Hydroelektriſirmaſchine zwiſchen Platinſpitzen durch den Waſſerdampf hindurchſchlugen, wurde ebenfalls eine kleine Blaſe von Knallgas gebildet.

Wie bei den vorherigen Verſuchen vergrößerte ſich durch die Arbeit eines ganzen Tages die Blaſe nicht, wurde ſie aber fortgeſchafft, ſo bildete ſich ſogleich eine neue. Das Gas, auf ähnliche Weiſe geſammelt, ließ ſich verpuffen und gab einen Rückſtand von 0,4 ſeines urſprünglichen Volumens, beſtehend aus Stickſtoff mit einer Spur Sauerſtoff.

Durch eine natürlich nur annähernd richtige Schätzung der Dampf- und Gasvolumina ergab ſich, daß das gebildete Knallgas ungefähr $^1/_{2400}$ des Dampfvolums betrug.

Grove vermuthete, daß dieſe Knallgasbildung keineswegs eine ſpecifiſche Wirkung der Elektricität ſey, ſondern daß ſie lediglich durch die Hitze hervorgebracht werde, und in der That gelang es ihm auch, durch Hitze allein ohne Elektricität Waſſerdampf zu zerſetzen.

Mit Uebergehung der weniger gerathenen Verſuche wollen wir uns

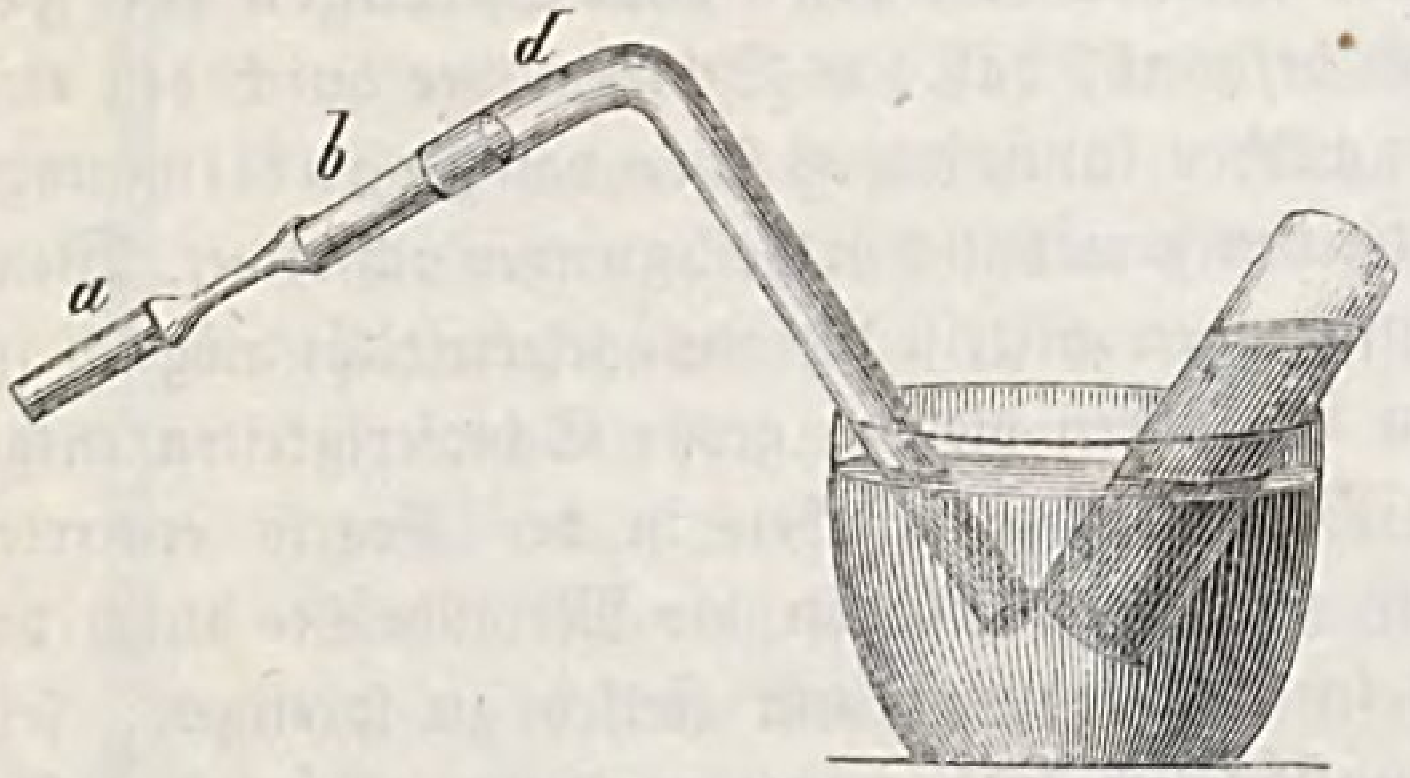
gleich zu denen wenden, welche ganz entſcheidende Reſultate gaben. Mit einer Batterie von 30 conſtanten Zinkplatin-Bechern wurde das Ende eines dicken Platindrahtes zu einer pfefferkorngroßen Kugel geſchmolzen; dann wurde zwiſchen dieſer und der Kohle, welche den negativen Pol bildete, der Flammenbogen hervorgebracht, bis die Kugel wiederum ihrem Schmelzpunkte nahe war. — Nun wurde die glühende Kugel raſch in luftfreies Waſſer getaucht, welches durch eine Weingeiſtlampe kochend gehalten wurde und in dem eine mit demſelben Waſſer gefüllte Röhre umgekehrt ſtand. — Es ſtiegen vereinzelte Gasblaſen in die Röhre. — Derſelbe Proceß wurde wiederholt, bis eine genügende Menge Gas geſammelt war, welches verpuffte, einmal 0,4 ein anderesmal nur 0,25 des urſprünglichen Volumens als Rückſtand ließ, welcher wie gewöhnlich Stickgas mit einer Spur Sauerſtoffgas war.

Die galvaniſche Batterie diente hier offenbar nur, um die Platinkugel glühend zu machen. Vor dem Knallgasgebläſe geſchmolzen und glühend gemacht, brachte ſie dieſelbe Wirkung hervor. Es wurde auf dieſe Weiſe mehr als ein Kubikzoll Knallgas dargeſtellt.

Offenbar umgiebt ſich die glühende Kugel, in Waſſer eingetaucht, ſogleich mit einer Dampfſchicht, aus welcher ſich dann die kleine Portion Knallgas abſcheidet.

Um eine continuirliche Entwickelung der gemengten Gaſe aus einem bloß der Hitze unterworfenen Waſſer hervorzubringen, conſtruirte Grove den Apparat, Fig. 147, *a* und *b* ſind zwei ſilberne Röhren, 4 Zoll lang und 0,3 Zoll im Durchmeſſer, verbunden durch zwei Platinkappen mit einer Platinröhre, die aus einem der Länge nach durchbohrten Platindraht von 0,125 Zoll Dicke gebildet iſt, und im Lichten nur den Durchmeſſer einer ſtarken Stecknadel hat. *a* iſt am Ende verſchloſſen, *b* durch einen umwickelten Streifen Blaſe mit der gebogenen Glasröhre *d* verbunden. Das Ganze wird mit luftfreiem Waſſer gefüllt, und nachdem die Luft aus *a* durch Hitze ausgetrieben, wurde das Ende der Glasröhre in eine Schale mit ſiedendem Waſſer geſteckt. Nun wird mittelſt einer Weingeiſtlampe erſt *b*, dann *a* erwärmt, bis das Waſſer kocht; ſobald das Sieden eingetreten iſt, läßt man die Flamme eines Knallgasgebläſes auf den mittleren Theil der Platin-

Fig. 147.



röhre ſpielen, und wenn dieſer den höchſten Grad des Glühens erreicht hat, bildet ſich Gas, welches, gemengt mit Dampf, bald den ganzen Apparat erfüllt und zum offenen Ende entweicht, entweder in die freie Luft oder in das Auffangglas.

Das ſo geſammelte Gas ließ bei der Verpuffung 0,3 ſeines Volumens Rückſtand, welcher aus Stickgas und einer Spur von Sauerſtoff beſtand.

Daß in allen dieſen Fällen Stickgas als Rückſtand blieb, rührt daher, daß es bekanntlich höchſt ſchwierig, ja faſt unmöglich iſt, das Waſſer abſolut von Luft zu befreien.

Dieſe Erſcheinungsreihe iſt höchſt merkwürdig. Während das Knallgas unter dem Einfluß der Hitze ſich zu Waſſerdampf verdichtet, haben wir hier, freilich nur bis zu einer ſehr begränzten Menge, gerade die umgekehrte Wirkung. Die Ermittelung der näheren Bedingungen und Beziehungen dieſer Zerlegung des Waſſerdampfes, welche etwa zu einer Erklärung des Phänomens führen könnte, müſſen wir noch von der Zukunft erwarten.

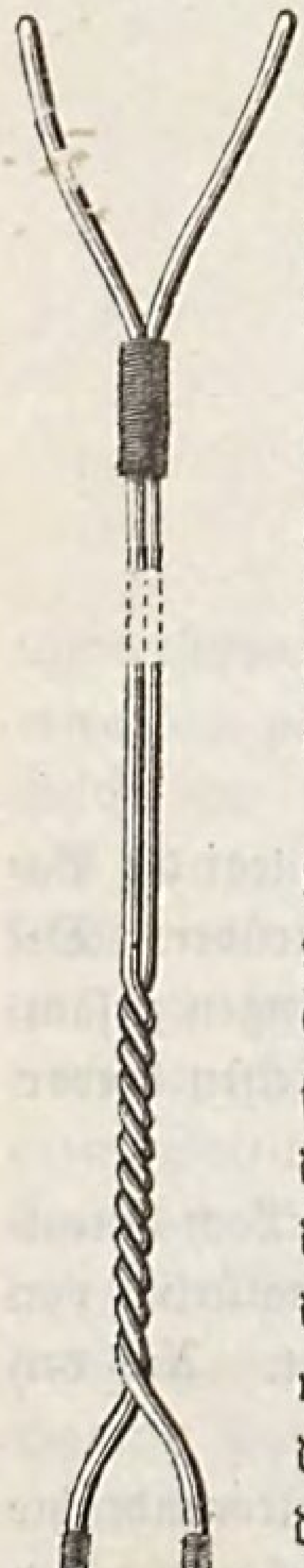
Wenn Grove ſagt: »daß dieſe Verſuche hoffen laſſen, in nicht ferner Zeit Knallgas zur Beleuchtung u. ſ. w. einfach dadurch zu bereiten, daß man ſiedendes Waſſer durch ſtark erhitzte Platinröhren leitet, oder mittelſt anderer Methoden«, ſo kann ich doch nicht umhin, mein Bedenken auszuſprechen, ob, falls die Darſtellung im großen Maaßſtabe wirklich gelingen ſollte, das ſo erhaltene Knallgas mehr Licht und Wärme geben kann, als das zu ſeiner Darſtellung verbrauchte Brennmaterial.

163 **Anwendung des galvaniſchen Glühens zum Sprengen der Felſen.** Es iſt ſchon längſt bekannt, daß das Schießpulver durch den elektriſchen Funken entzündet werden kann, wie es ſchon von Franklin ausgeführt wurde und noch jetzt einen gewöhnlichen Collegienverſuch bildet. Wenn nun aber auch das Felſenſprengen mittelſt Reibungselektricität möglich iſt, ſo ſtellen ſich doch dieſem Verfahren viel zu große Schwierigkeiten entgegen, als daß man die Verbreitung derſelben in der Praxis erwarten könnte. — Hare brachte zuerſt das Glühen der Metalldrähte durch den galvaniſchen Strom in Anwendung, um Felſen zu ſprengen; ſein Apparat war aber zu umſtändlich und ungeeignet zum alltäglichen Gebrauch für nicht wiſſenſchaftlich gebildete Arbeiter, weshalb ſein Verfahren keine große Verbreitung fand. In Folge der vielen Unglücksfälle, welche beim Sprengen in Bergwerken und Steinbrüchen vorkommen, widmete der Engländer Roberts dem Gegenſtande ſeine Aufmerkſamkeit. Nach vielen Bemühungen gelang es ihm, die Anwendung des galvaniſchen Stromes zum Felſenſprengen ſo einfach zu machen, daß ſein Verfahren allgemeine Anerkennung und Empfehlung verdient. Es iſt zuerſt im Mechanics Magazine, Mai 1842, S. 353 beſchrieben (Dingler's po-

lytechniſches Journal, LXXXV. 275). In dieſem Bericht können wir uns ziemlich kurz faſſen, weil gar vieles von dem Inhalte jenes Aufſatzes als bekannt vorausgeſetzt werden muß.

Um nicht erſt für jede Exploſion den feinen zwiſchen den Leitungsdrähten ausgeſpannten Eiſendraht vorrichten zu müſſen, erdachte Roberts Patronen, von denen man ſtets eine Anzahl vorräthig halten kann. Die Anfertigung der Patronen geſchieht auf folgende Weiſe. — Zwei Kupferdrähte, jeder von 10 Fuß Länge, gegen 1 Linie dick und gut mit wohlgewichstem Baumwollen- oder Wollengarn überſponnen, werden dicht neben einander gelegt; an dem einen Ende werden dann die beiden Drähte auf eine Länge von 6 Zoll hin zuſammengedreht, wie es Fig. 148 andeutet, bis auf zwei Hörner von etwas über ½ Zoll Länge, die am freien Ende gegen ½ Zoll von einander abſtehen. Die freien Enden dieſer Hörner werden nun von ihrer Bedeckung befreit und mit der Feile geputzt, und zwiſchen ihnen der feine Eiſendraht ausgeſpannt. Seine Enden kann man auf die Enden der Hörner aufwickeln und mit Zinn feſtlöthen.

Fig. 148.



Der eiſerne Entzündungsdraht wird natürlich bei jeder Exploſion vernichtet; damit dies aber nicht auch mit den kupfernen Leitungsdrähten der Fall ſey, werden die beiden Drähte zuſammen dick mit Faden, wie es am oberen Ende der Figur angedeutet iſt, und dann noch einmal mit feinem Binddraht umwickelt.

Der Körper der Patrone iſt eine Zinnröhre von 3 Zoll Länge und ¾ bis 1 Zoll Weite, welche zuſammengelöthet und vollkommen waſſerdicht iſt. (Man könnte wohl auch eine Glasröhre nehmen.) Der feine Eiſen- oder Stahldraht befindet ſich ungefähr in der Mitte des Cylinders. Er wird dadurch an ſeiner Stelle erhalten, daß die gedrehten Drähte durch einen Kork hindurchgehen, welcher an dem einen Ende der Röhre eingeſteckt iſt. Das beſte Verfahren, die zuſammengedrehten Drähte hier gehörig feſtzuhalten, beſteht darin, den Korkſtopfen ſeiner Länge nach zu ſpalten, und ihn, nachdem die Drähte zwiſchen die beiden Stücke gelegt worden, in die Röhre zu zwängen. Da die zuſammengedrehten Drähte doch etwas dick ſind, ſo wird es doch gut ſeyn, vorher eine kleine Rinne in die Korkſtücke einzuſchneiden. — Iſt der Kork ſo eingeſteckt, daß die Hörner die Wand nirgends berühren, ſo wird er mit gutem Kitt überzogen. Robert's empfiehlt dazu einen Kitt, beſtehend aus 1 Theil Bienenwachs und 2 Theilen Harz.

Nun wird von dem offenen Ende her die Röhre mit trockenem Jagd-

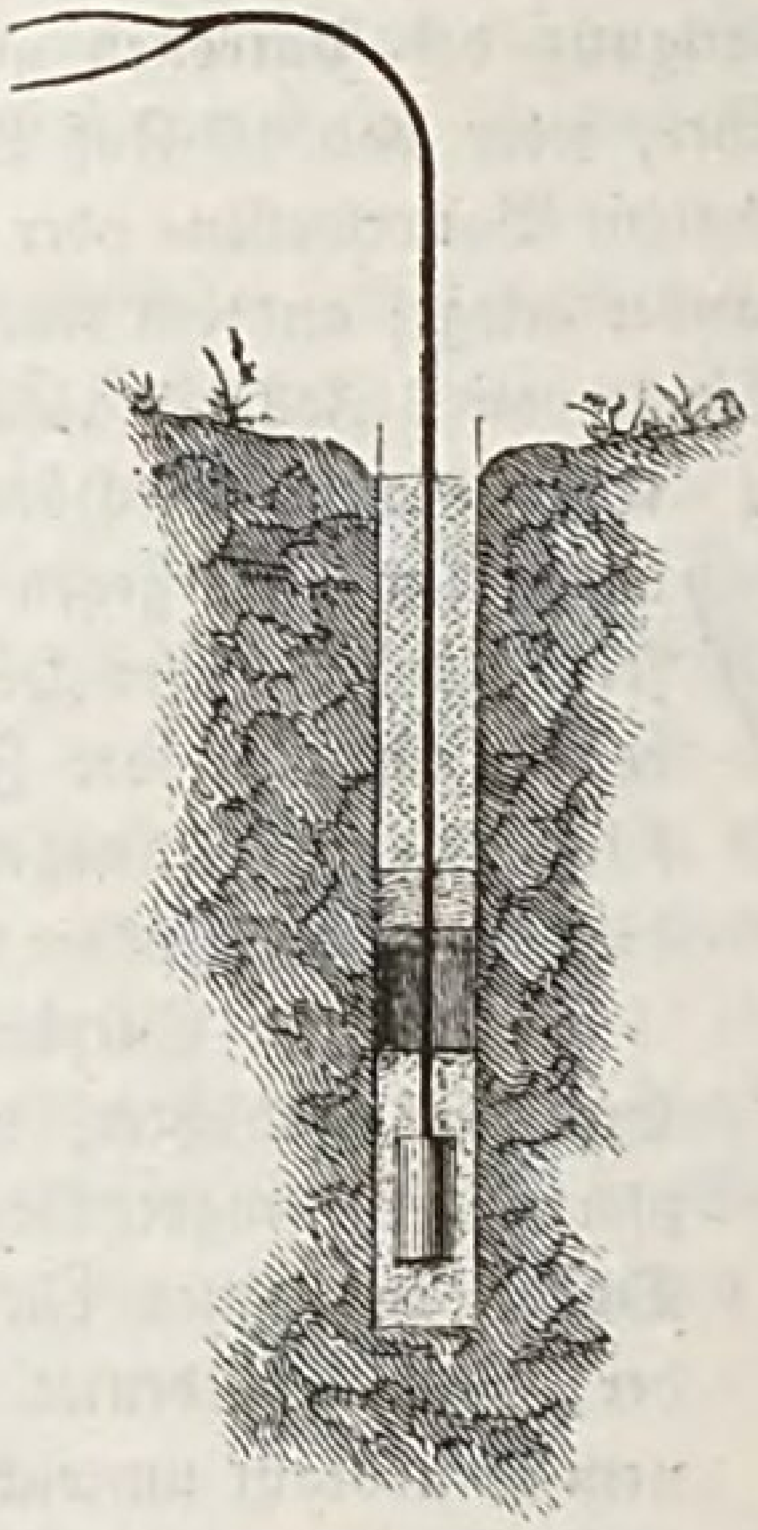
pulver gefüllt, und dann auch hier ein Kork eingeſetzt, der wie der andere wohl verpicht werden muß.

Fig. 149 zeigt die ganze Patrone.

Wie die Patrone in das Bohrloch eingeſetzt wird, zeigt Fig. 150. Nachdem es gehörig von Staub und Feuchtigkeit gereinigt worden iſt, ſchüttet

Fig. 149.

Fig. 150.



man die Hälfte der beabſichtigten Pulverladung in das Loch, legt die Patrone darauf und ſchüttet den übrigen Theil der Ladung darüber. Die Patrone befindet ſich alſo in der Mitte der Ladung, und ihre langen zuſammengewickelten Drähte ſtehen noch mehrere Fuß über den Felſen hervor. Das Pulver wird nicht eingeſtampft.

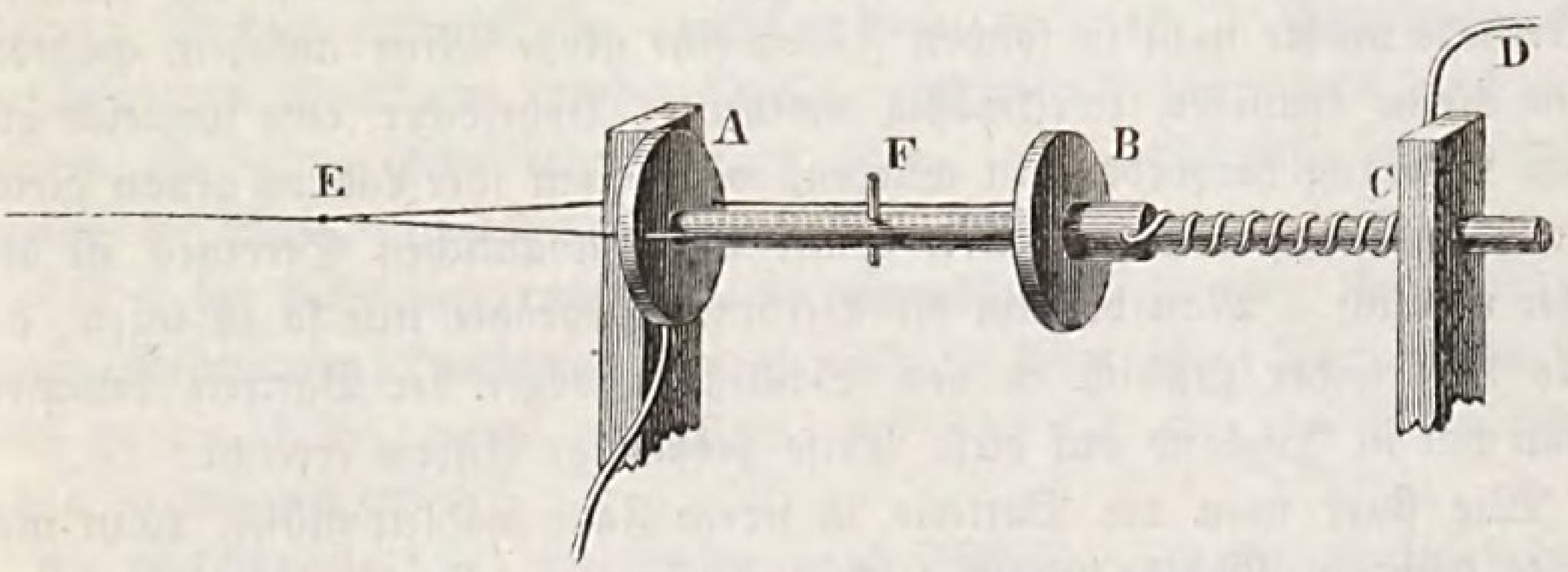
Nun wird ein Pfropf von Stroh oder Werg ſanft in das Loch hinuntergeſchoben, ſo daß ein lufterfüllter Raum, deſſen Größe natürlich von den Umſtänden abhängt, zwiſchen ihm und dem Pulver bleibt. Auf den Pfropf wird trockner Sand geſchüttet, bis das Loch voll iſt.

Die beiden gabelförmig auseinander ſtehenden Enden der Patronendrähte müſſen nun durch Zuleitungsdrähte mit der 60 bis 90 Fuß entfernten Batterie verbunden werden. Dieſe Zuleitungsdrähte ſind gleichfalls überſponnene Kupferdrähte von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer; ſie ſind gleichfalls nebeneinandergelegt und dann gemeinſchaftlich mit Faden umwickelt; nur ſtehen ihre freien Enden auf beiden Seiten gabelförmig auseinander, um auf der einen Seite mit den Patronendrähten, auf der andern mit den Polen der Kette verbunden zu werden.

Die Perſon, welche die Schließung der Batterie, alſo die Entzündung der Mine zu beſorgen hat, muß unter Umſtänden noch weiter von dem Bohrloche entfernt ſeyn, als die Batterie, man muß alſo eine Vorrichtung haben, um die Schließung der Kette aus der Ferne mittelſt einer Schnur beſorgen zu können.

Roberts hat zu dieſem Zweck folgende Vorrichtung erſonnen. An zwei gegenüberſtehenden Enden des Kaſtens, welcher die Batterie enthält, ſtehen hölzerne Pfeiler in die Höhe, welche oben durch einen cylindriſchen Holzſtab von 1 Zoll Durchmeſſer verbunden ſind. An dem einen Ende deſſelben iſt die Zinnſcheibe *A*, Fig. 151, von 3 bis 4 Zoll Durchmeſſer

Fig. 151.



unverrückbar befeſtigt und an ihr ein Draht angelöthet, der zu dem einen, etwa dem poſitiven Pole der Batterie führt. Eine zweite Zinnſcheibe *B*, welche der ſicheren Führung wegen auf der von *A* abgewandten Seite mit einer Zinnröhre verſehen iſt, die ſich mit der Scheibe auf dem Stabe leicht hin- und herſchieben läßt, wird durch einen federnden, ſpiralförmig um den Holzſtab herumgehenden, bei *C* befeſtigten Metalldraht von *A* entfernt gehalten. Das freie Ende *D* dieſes Spiraldrahtes wird an dem einen Zuleitungsdraht befeſtigt, während der andere mit dem negativen Pole der Säule verbunden iſt. So iſt alſo die Scheibe *B* durch eine lange Drahtleitung, in welcher auch der feine Eiſendraht ſich befindet, mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung, *B* iſt gewiſſermaßen der negative Pol der Kette, *A* aber der poſitive. Der Strom circulirt und macht den Eiſendraht glühend, ſobald *A* und *B* in Berührung kommen.

Um aus der Ferne die Platte *B* gegen *A* hinziehen zu können, ſind in *B* zwei Löcher angebracht, durch welche eine Schnur hindurchgeht, deren Enden durch zwei entſprechende Löcher der Scheibe *A* gezogen, bei *E* miteinander verbunden ſind. Von *E* geht dann eine längere Schnur zu dem Orte, an welchem die Perſon ſteht, die das Schließen der Kette zu beſorgen hat.

Damit nicht etwa durch ein zu frühzeitiges zufälliges Ziehen an der

Schnur die Kette geſchloſſen werden kann, iſt ein Holzſtäbchen *F* zwiſchen *A* und *B* eingeſteckt. Erſt wenn dieſes ausgezogen iſt, kann durch Ziehen an der Schnur die Exploſion der Mine bewirkt werden.

Außer der Verminderung der Gefahr hat dieſe Methode der Felſenſprengung noch andere bedeutende Vorzüge; ſie erlaubt ohne große Schwierigkeiten eine Entzündung des Pulvers unter Waſſer vorzunehmen. Zu dieſem Zweck befindet ſich die ganze, zur Sprengung anzuwendende Pulvermaſſe, in waſſerdicht verſchloſſenen Blechbüchſen, die nur an den gehörigen Ort zu bringen ſind, um ihre Wirkung zu thun.

Ebenſo bringt die Anwendung des galvaniſchen Glühens ſehr große Vortheile, wenn große Maſſen wegzuſprengen ſind. Nach der früheren Methode mußte man in ſolchen Fällen eine große Mine anlegen, während eine Reihe kleinerer, zweckmäßig vertheilter Bohrlöcher eine ungleich größere Wirkung hervorbringen würden, wenn man ihre Ladung genau gleichzeitig anzünden könnte. Mit Hülfe des galvaniſchen Stromes iſt dies aber möglich. Man braucht die Verbindungsdrähte nur ſo zu legen, daß alle Bohrlöcher zugleich in den Schließungsbogen der Batterie kommen; man hat in England auf dieſe Weiſe großartige Effecte erreicht.

Wie ſtark man die Batterie in jedem Falle wählen müſſe, kann man nach früheren Mittheilungen leicht ermeſſen. — Aus §. 159 kann man entnehmen, wie groß die Stromſtärke ſein muß, um den dünnen Eiſendraht weißglühend zu machen (natürlich muß man ſeine Dicke ermittelt haben), und wenn man den Widerſtand der Drahtleitung berechnet hat, kann man leicht beſtimmen, wie viel Volta'ſche Becher oder Plattenpaare der einen oder der andern Einrichtung man anwenden muß, um dieſe Stromſtärke zu erhalten.

164 **Der Volta'ſche Lichtbogen.** Durch die Conſtruction der conſtanten Kette, iſt die Erzeugung des von Davy zuerſt beobachteten Lichtbogens zwiſchen Kohlenſpitzen ungemein erleichtert, und dieſes intereſſante Phänomen auch mannichfach unterſucht worden, obgleich hierin noch ſehr viel zu thun übrig bleibt.

De la Rive hat ſich mehrfach mit dem galvaniſchen Flammenbogen beſchäftigt; einen größeren Aufſatz über dieſen Gegenſtand hat er in der Phil. Trans. f. 1847 pt. publicirt (P. A. LXXVI, 170), aus dem zunächſt Folgendes hervorzuheben iſt:

Der galvaniſche Lichtbogen läßt ſich nicht nur zwiſchen Kohlenſpitzen, ſondern auch zwiſchen verſchiedenen Metallſpitzen erzeugen. Bei leicht ſchmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eiſen, iſt er größer als beim Platin oder Silber. Die Größe des Lichtbogens ſteht in Beziehung zur größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher

die Subſtanz der Elektroden ſich zu zertheilen fähig iſt; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Subſtanz von einer Elektrode zur andern erzeugt und erhalten wird, ſo muß ſeine Bildung nothwendig durch eine geringere Cohäſion der Elektroden begünſtigt werden; deshalb kann man auch zwiſchen Kohlenſpitzen, unter ſonſt gleichen Umſtänden, den größten Lichtbogen hervorbringen.

Die Fortführung der Subſtanz geſchieht ſtets von dem poſitiven zu dem negativen Pole. In der Luft und bei metalliſchen Elektroden beſteht der Abſatz auf dem negativen Pol immer aus dem oxydirten Staub des Metalls der poſitiven Elektrode.

Giebt man dem einen Pol die Form einer Platte, welcher der andere Pol in Geſtalt einer Spitze gegenüberſteht, ſo bildet die Ablagerung der fortgeführten Subſtanz auf der Platte, wenn ſie negativ und die Spitze poſitiv iſt, einen ſehr regelmäßigen Ring, deſſen Mittelpunkt die Projection der Spitze auf die Platte iſt.

Wenn der Lichtbogen zwiſchen einer Queckſilberfläche und einer ihr gegenüberſtehenden Metallſpitze erzeugt wird, ſo ſteigt es in Form eines Kegels in die Höhe, wenn es poſitiv, es bildet ſich aber eine Vertiefung, wenn es negativ iſt.

Es iſt ſchwierig hier, wegen der großen Menge des ſich hierbei bildenden Queckſilberdampfes, Details zu beobachten.

De la Rive ſtellte Verſuche mit Platten und Spitzen von Platin, Eiſen, Silber und Kupfer an, ich kann mich aber über die Einzelnheiten dieſer Verſuche nicht weiter auslaſſen, weil mir Manches unklar blieb; namentlich wollte es mir nicht gelingen, in den einzelnen Verſuchen überall die Nachweiſung und Begründung der ſo eben mitgetheilten allgemeinen Sätze herauszufinden. Eine Wiederholung dieſer Verſuche, und eine genaue, wo möglich durch Abbildungen erläuterte Beſchreibung erſcheint deshalb ſehr wünſchenswerth.

Leuchtkraft des galvaniſchen Flammenbogens. Ueber die Licht- 165
ſtärke des galvaniſchen Flammenbogens hat Caſſelmann Verſuche angeſtellt, welche in der ſchon oben, S. 384, angeführten Abhandlung beſchrieben ſind, aus welcher ſie auch in Poggendorff's Annalen übergingen (P. A. LXIII, 576). Das Photometer, welches er zu ſeinen Verſuchen anwandte, war nach denſelben Principien conſtruirt wie dasjenige, welches ich in der dritten Auflage meines Lehrbuchs der Phyſik beſchrieben habe (2ter Band, Seite 674). Die Kohlenſtücke, zwiſchen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derſelben Maſſe gebildet, welche zur Herſtellung der Kohlencylinder der Bunſen'ſchen Kette dient; jedoch waren ſie noch auf verſchiedene Weiſe präparirt worden, indem ſie mit

Löſungen von ſalpeterſaurem Strontian, Borſäure u. ſ. w. getränkt und nochmals ſtark geglüht wurden. Die ſo präparirten Kohlenſtücke geben einen, je nach der angewandten Subſtanz verſchieden gefärbten, ſehr ruhigen Lichtbogen der (bei einer Säule von 44 Bunſen'ſchen Bechern) erſt erliſcht, wenn die Kohlenſpitzen 7 bis 8 Millimeter von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle ſchon bei 5mm Entfernung erliſcht.

In den Strom war gleichzeitig eine Tangentenbuſſole eingeſchaltet, ſo daß die jeder gemeſſenen Lichtſtärke entſprechende Stromſtärke gemeſſen werden konnte.

Die hellſten Punkte des ganzen Lichtphänomens ſind bekanntlich diejenigen Punkte der beiden Kohlenſtücke, auf welche der eigentliche Lichtbogen aufſetzt. Die folgende Tabelle giebt die jedem Falle entſprechende Lichtſtärke der beiden hellen Punkte, ſammt dem Bogen verglichen mit der Lichtſtärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei möglichſt großer Entfernung der Kohlenſpitzen. — Die Werthe der Stromſtärke ſind bereits auf chemiſche Einheit reducirt.

	Entfernung der Kohlenſpitzen	Stromſtärke	Lichtſtärke
Rohe Kohle	0,5mm	95	932
	4,5	68	139
Kohle mit ſalpeterſaurem Strontian	0,5	120	353
	6,75	88	274
Kohle mit Aetzkali	2,5	101	150
	8	82	75
Kohle mit Zinkchlorid	1,0	80	624
	5,0	67	159
Kohle mit Borax in Schwefelſäure	1,5	72	1171
	5,0	64	165

Dieſe Tabelle zeigt uns, daß mit der Entfernung der Spitzen Lichtſtärke und Stromſtärke abnimmt. Durch die meiſten der Subſtanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, iſt der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine größere Entfernung der Kohlenſpitzen möglich, aber keine größere Lichtſtärke erzielt worden; dies iſt nur der Fall bei der Kohle, die in eine Miſchung von Borax mit Schwefelſäure getaucht war.

Uebrigens ſind die Reſultate, welche in dieſer Tabelle aufgeführt wurden, nur annähernd genau, indem es bei der Veränderlichkeit der Lage, welche die blendenden Ausgangspunkte des Lichtbogens zeigen, es wohl vorgekommen ſein mag, daß nicht die ganze Lichtſtärke dem Photometer

zugewandt war. Bei einer folgenden Verſuchsreihe, welche die nächſte Tabelle im Auszug enthält, wurde dieſer Fehler dadurch vermieden, daß mittelſt eines Magnetſtabes der Lichtbogen nach dem Photometer hin gerichtet wurde. In dieſer Verſuchsreihe, bei welcher nur 34 Bunſen'ſche Becher angewandt wurden, blieb die Entfernung der Kohlenſpitzen ungeändert, und die Lichtſtärke wurde für verſchiedene Stadien der Stromſtärke gemeſſen.

	Stromſtärke	Lichtſtärke
Kohle mit Borſäure	.41	198
	52	254
	57	298
Kohle mit ſchwefelſaurem Natron	38	178
	41	203
	52	346
	60	460

Die mit ſchwefelſaurem Natron getränkte Kohle war nach dem Eintauchen nicht mehr geglüht worden.

Dieſen Verſuchen zufolge wächſt die Lichtſtärke in einem etwas raſcheren Verhältniß als die Stromſtärke.

Leider haben wir gar keine Meſſungen über die Lichtſtärke des galvaniſchen Flammenbogens, wenn man verſchiedene Metalle anſtatt der Kohlenſpitzen anwendet.

Nach einer andern Seite haben Fizeau und Foucault vergleichende Verſuche über die Lichtſtärke des galvaniſchen Lichtbogens angeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p. 370; P. A. LXIII, 463). Sie vergleichen nicht die Leuchtkraft, welche verſchiedene Lichtquellen haben, ſondern die Intenſität ihrer chemiſchen Wirkungen. In dieſer Beziehung vergleichen ſie den galvaniſchen Lichtbogen mit dem Sonnenlicht und dem Lichte des in Knallgas glühenden Kalkes. Der Verſuch wurde in folgender Weiſe ausgeführt: In einer camera obscura wurde eine jodirte Silberplatte an die Stelle geſetzt, an welcher das Bild der Sonne, des Kohlen- oder des Kalklichtes entſteht. Man ließ das Licht nur kurze Zeit wirken, verſchloß die camera obscura mit einem Schirm, und drehte ſie nun ein wenig ſeitwärts, ſo daß das Bild des leuchtenden Objectes auf der präparirten Silberplatte neben das erſte fiel; man ließ nun das Licht etwas länger einwirken, auf eine dritte Stelle noch länger u. ſ. w. Die Platte wurde nun in den Queckſilberkaſten gebracht und ermittelt, das wievielte Bild durch die Queckſilberdämpfe ſichtbar gemacht wurde

Man erfährt auf dieſe Weiſe, wieviel Zeit nöthig iſt, damit das Licht die zur Condenſation der Queckſilberdämpfe erforderliche Veränderung der Jodſilberſchicht hervorbringt.

Wären nun alle übrigen Umſtände gleich, ſo würde die zur Hervorbringung des Daguerre'ſchen Bildes nothwendige Zeit der chemiſchen Intenſität der Lichtquellen nahezu umgekehrt proportional ſeyn.

Fizeau und Foucault wandten aber zu ihren Verſuchen mit Kohlen- und Kalklicht Linſen von kürzerer Brennweite an, als zur Erzeugung von Sonnenbildern; ebenſo wurde die Oeffnung der Linſen durch vorgeſetzte Blendungen variirt. Dieſer Umſtände muß alſo Rechnung getragen werden.

Iſt das Bild n mal ſo weit von der Linſe entfernt, ſo wird caeteres paribus das Bild in ſeinen linearen Dimenſionen n mal größer ſeyn, es wird alſo eine n^2 mal ſo große Fläche bedecken, die Lichtſtärke an jedem einzelnen Punkte des Bildes wird alſo n^2 mal geringer. Die chemiſche Kraft der Lichtquelle iſt alſo dem Quadrat der Entfernung des Bildes von der Linſe proportional zu ſetzen.

Sie iſt aber auch, wie man leicht überſieht, umgekehrt der Fläche der Linſenöffnung, alſo dem Quadrate des Halbmeſſers der Linſenöffnung proportional zu ſetzen, wir haben alſo

$$J = \frac{d^2}{t \, . \, r^2},$$

wenn man mit J die (chemiſche) Lichtſtärke der Lichtquelle, mit d die Entfernung des Bildes von der Linſe, mit r den Halbmeſſer der Linſenöffnung, und mit t die zur Hervorbringung eines Daguerreſchen Bildes erforderliche Zeit bezeichnet.

Bezeichnet man mit α den Winkel, unter welchem der Radius der Linſenöffnung von der Bildſtelle aus geſehen erſcheint, ſo iſt

$$\frac{r}{d} = tang.\,\alpha,$$

alſo

$$J = \frac{1}{t \, . \, tang.\,\alpha}.$$

Nach dieſer, oder vielmehr nach einer ähnlichen, etwas anders geſtalteten, ihr aber äquivalenten Formel berechnen Fizeau und Foucault ihre Beobachtungsreſultate, und erhalten folgende Verhältnißzahlen für die Intenſität der Lichtquellen:

Sonnenlicht, im Auguſt und September bei reinem Himmel in den Mittagsſtunden	1000
Kohlenlicht, durch 46 Bunſen'ſche Zinkkohlenbecher erzeugt	235
Kalklicht	6,8.

Das Kalklicht erſcheint hier überraſchend gering, aber auch nach dem gewöhnlichen photometriſchen Verfahren fanden Fizeau und Foucault ein ähnliches Verhältniß zwiſchen Kalk- und Kohlenlicht. Es ſind nun eben keine andere vergleichende Meſſungen bekannt, welche ich mit dieſen zuſammenſtellen könnte; um ſo mehr aber iſt eine umſichtige experimentelle Prüfung derſelben zu wünſchen.

In Beziehung auf die Veränderung der Lichtſtärke des Kohlenlichtes mit der Anzahl und Größe der galvaniſchen Elemente finden ſich in jenem Aufſatze folgende Angaben. Während eine Säule von 46 Bunſen'ſchen Elementen die Lichtſtärke 235 gab, ſtieg dieſe nun auf 238, als die Zahl der Becher auf 80 vermehrt wurde; eine Säule von 46 3fachen Bechern, die ſchon eine Stunde lang thätig geweſen waren, gab dagegen die Lichtſtärke 385.

In Folge der raſchen Veränderung der Flüſſigkeit, indem ſich nämlich die verdünnte Schwefelſäure mehr und mehr in einer Löſung von Zinkvitriol verwandelt, nimmt die Kraft der Säule und folglich auch die Intenſität des Lichtbogens, den ſie hervorzubringen vermag, raſch ab. Während 80 Becher anfangs die Lichtſtärke 238 gaben, war dieſelbe nach 3 Stunden nur noch 159.

Leider haben franzöſiſche Phyſiker keine den Lichtſtärken correſpondirenden Meſſungen der Stromſtärke gemacht, in deren Verbindung die obigen Verhältnißzahlen einen ungleich größeren Werth erhielten.

Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Flammenbogen. 166
Die Wärmeentwickelung an den Polen, zwiſchen denen der Lichtbogen übergeht, iſt viel zu bedeutend, als daß man ſie nur dem Durchgang des elektriſchen Stromes durch dieſe Leiter zuſchreiben könnte. Den auf Seite 390 angeführten Verſuchen zufolge muß ein Strom, welcher einen Platindraht von 0,75‴ Dicke durchlaufend, denſelben weißglühend machen ſoll, wenigſtens die Stromſtärke 160 haben. Um einen Platindraht von 3 Millimeter Durchmeſſer nur weißglühend zu machen, iſt demnach wenigſtens die enorme Stromſtärke 640 erforderlich; und doch kann man mit dem Strom einer Säule von 44 Bunſen'ſchen Bechern bei einer Stromſtärke von 80 bis 100 einen Flammenbogen erzeugen, durch welchen man an einen mehr als 3 Millimeter dicken Platindraht leicht eine Kugel anzuſchmelzen vermag, wenn man ihn an die Stelle des einen Pols ſetzt, während der andere Pol fortwährend durch Kohle gebildet wird.

Die Verbrennung der Kohle findet hier in zu geringem Maaßſtabe ſtatt, als daß man ihr einen weſentlichen Antheil an der ſtarken Wärmeentwickelung zuſchreiben könnte, und zwar um ſo mehr, als die Schmel-

zung des Platindrahtes durch den galvaniſchen Flammenbogen im luftleeren Raum ebenſo gut gelingt wie in freier Luft.

Außer der Wärme, welche der elektriſche Strom in Folge ſeines einfachen Durchganges durch die Leiter in denſelben hervorbringt, muß er alſo bei der Bildung des Lichtbogens auch noch in einer andern Weiſe Wärme erzeugend in den Polen deſſelben wirken, über die wir jedoch bis jetzt nichts Näheres wiſſen.

Die Wärmeentwickelung iſt nicht gleich für die beiden Pole des Flammenbogens, ſie iſt ſtärker im poſitiven als im negativen. De la Rive führt für dieſe ſchon früher beobachtete Thatſache in der bereits auf Seite 408 angeführten Abhandlung noch folgende Beobachtungen an.

Wenn bei der Bildung des Lichtbogens eine poſitive Metallſpitze einer negativen Metallplatte gegenüberſtand, ſo wurde die Spitze durch und durch glühend, während ſie im umgekehrten Fall nur an ihren Enden erhitzt wurde.

Stehen ſich zwei Spitzen von gleichem Metall gegenüber, ſo wird die poſitive viel ſtärker und auf größere Entfernung hin glühend. Beſtehen die beiden Spitzen aus verſchiedenen Metallen, ſo glüht natürlich diejenige am ſtärkſten, welche aus dem am ſchlechteſten leitenden Metall gebildet iſt.

Hierher gehört noch eine Beobachtung von Walker, welche er mit einer Daniell'ſchen Batterie von 160 Bechern gemacht hat (Transact. of the Lond. electr. soc. p. 65 und 71; P. A. LV., 62). Er legt die Poldrähte über's Kreuz, doch ſo, daß ſie nach der Berührung wieder etwas von einander entfernt werden, daß alſo ein kurzer Flammenbogen zwiſchen ihnen übergeht. Dabei wird das poſitive Drahtende vom Kreuzungspunkte an in dem Grade rothglühend, daß es erweicht und ſich umbiegt, während der negative Draht verhältnißmäßig kalt bleibt.

Die großartigſten Verſuche über die Wirkungen der Hitze des Flammenbogens hat Despretz angeſtellt. Er brachte in Paris 500 Zinkkohlen-Becher zuſammen. Er ſtellte nun eine Säule von 124 Elementen zuſammen, deren jedes aus 4 Bunſen'ſchen Bechern beſtand. Als ein Stäbchen Zuckerkohle in einem bis auf 5 Millimeter evacuirten Glasballon zwiſchen die Pole des Flammenbogens gebracht wurde, kam es ſtark ins Glühen, und der Ballon überzog ſich mit einem trocknen, kryſtalliniſchen, ſchwarzen Pulver. Kohle aus Gasretorten verhielt ſich ebenſo. — Es beweiſt dies eine Verflüchtigung der Kohle.

Despretz glaubt auch Spuren von Schmelzung der Kohle beobachtet zu haben; jedenfalls beweiſen ſeine Verſuche, daß die Kohle ſich leichter verflüchtigen als ſchmelzen läßt. Er meint, daß ſie in eine Atmoſphäre von comprimirtem Stickgas in metallenen Gefäßen gelingen würde.

Aehnlich wie Kohle verhalten ſich Kalk, Talkerde, das Zinkoxyd u. ſ. w.

Die Thonerde, der Rutil, Anatas, Nigrin, das Eiſenoxyd u. ſ. w. geben anfänglich Kügelchen, gehen aber dann in Dunſt über.

Bevor Despretz mit dieſen 496 Bechern operirte, benutzte er eine Säule von 165 Elementen und combinirte die Hitze ihres Flammenbogens mit der des Knallgasgebläſes und der durch eine Zonenlinſe von 90 Centimeter Durchmeſſer concentrirten Sonnenhitze. Die Wirkung der galvaniſchen Säule wurde durch Hinzuthun dieſer andern Wärmequellen erhöht. (Comptes rendus, Juli 1849, Nr. 3, Dingler's polytechniſches Journal, CXIV. 342.)

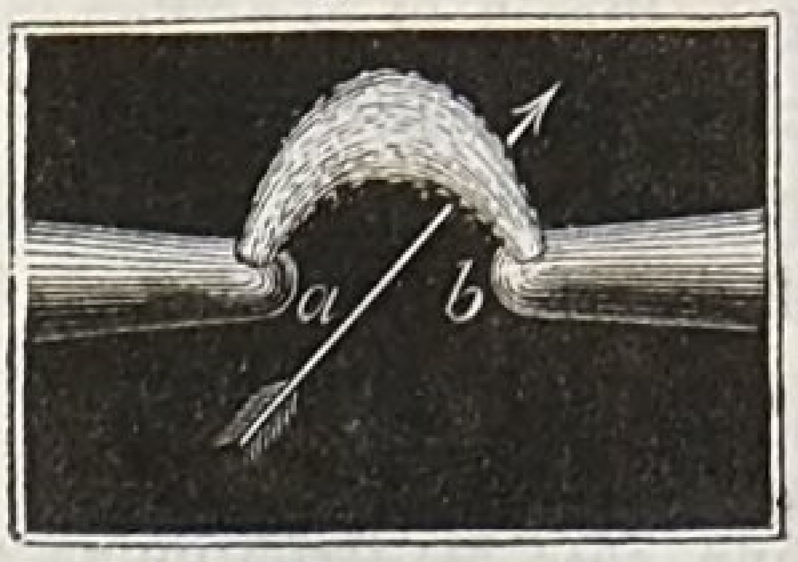
Einwirkung des Magnetismus auf den galvaniſchen Lichtbogen. 167

Daß magnetiſche Kräfte auf die Stellung und Geſtalt des Lichtbogens einen Einfluß haben, hat ſchon Davy beobachtet, und es iſt bekannt, daß der Lichtbogen von einem Magneten in derſelben Weiſe afficirt wird, wie ein vom galvaniſchen Strom durchfloſſener beweglicher Leiter; es muß demnach auch der Erdmagnetismus auf denſelben wirken. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen beſtimmt, ſtets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen. Denkt man ſich bei horizontal liegenden Kohlenſpitzen durch die glühenden Anfangspunkte des Lichtbogens eine ſenkrechte Ebene gelegt, ſo wird in Folge der Wirkung des Erdmagnetismus auf den Lichtbogen, der höchſte Punkt derſelben nie in dieſer Ebene, ſondern auf der einen oder der andern Seite derſelben liegen. Caſſelmann theilt in ſeiner ſchon auf Seite 384 erwähnten Schrift Verſuche über dieſen Gegenſtand mit. Ging bei horizontal einander gegenüberſtehenden Kohlenſpitzen

der Strom von	ſo war die Abweichung des Gipfelpunktes nach
N nach *S*	*O*
W nach *O*	*N*
S nach *N*	*W*
O nach *W*	*S*.

Es läßt ſich dies leicht ableiten. In Fig. 152 ſtellen *a* und *b* die beiden horizontal gegenüberſtehenden Kohlenſpitzen dar, zwiſchen denen ſich der Lichtbogen bildet. Denken wir uns nun durch *a* und *b* eine Verticalebene und in der Mitte zwiſchen *a* und *b* rechtwinkelig auf dieſelbe eine gerade Linie gelegt, wie dies durch den Pfeil angedeutet iſt, ſo würde eine in dieſer Linie liegende Stahlnadel durch den Strom des Lichtbogens magnetiſirt werden, und zwar wird das Nordende der Nadel in

Fig. 152.



der Spitze des Pfeiles ſeyn, wenn der poſitive Strom von *a* durch den Bogen nach *b* geht. Durch den Einfluß des Erdmagnetismus wird aber das Nordende der Nadel geſenkt, und dem entſprechend muß alſo auch der Lichtbogen aus der Verticalebene heraus nach der Seite ſich neigen, auf welcher ſich das Nordende der Nadel befindet.

Liegt *a* weſtlich, *b* öſtlich, ſo muß alſo, wenn der Strom von *a* nach *b* geht, eine Neigung nach Norden erfolgen; ginge aber der Strom von Oſt nach Weſt, ſo würde das Nordende der fingirten Magnetnadel auf die Südſeite des Lichtbogens zu liegen kommen, alſo eine Neigung des Bogens nach Süden erfolgen müſſen.

Mit Hülfe dieſer fingirten Magnetnadel kann man unter allen Umſtänden ableiten, wie ſich der Lichtbogen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus oder eines Magnetpols verhalten wird, oder welche Stellung er einnehmen muß, wenn man ihn zwiſchen die beiden Pole eines Hufeiſenmagneten bringt.

Wird ſtatt des einen Kohlenpoles ein Magnetſtab angewandt, ſo daß der Flammenbogen ſich zwiſchen Kohle und Stahl bildet, ſo rotirt der Flammenbogen um den magnetiſchen Stahlpol nach denſelben Geſetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen feſten Magneten rotirt.

Die erſte Notiz über dieſe Rotation des Flammenbogens giebt Walker in den Transactions of the London electrical society from 1837 to 1840. (P. A. LIV. 514.)

Auch de la Rive hat Verſuche über den Einfluß des Magnetismus auf den Volta'ſchen Bogen und zwar nach einer andern Richtung hin angeſtellt; ſie ſind in dem bereits auf Seite 408 angeführten Auſſatz beſchrieben.

Ich will hier die entſprechende Stelle aus de la Rive's Aufſatz ſelbſt folgen laſſen, und zwar deshalb wörtlich, weil ſie ein charakteriſtiſches Beiſpiel des Mangels an Präciſion der Darſtellung iſt, wodurch das Verſtändniß ſeiner Aufſätze ſo ſehr erſchwert wird, wie ich dies bereits auf Seite 409 berührte.

»Wenn zwei Spitzen von weichem Eiſen, die ſich innerhalb Gewinden »von dickem Kupferdraht befinden, als Elektroden angewandt werden, ſo »verſchwindet der zwiſchen denſelben ſich bildende Bogen in dem Momente, »als durch den Draht des Gewindes ein ſtarker Strom geleitet wird, und »er erſcheint wieder, ehe die Spitzen kalt geworden ſind, ſo wie man dieſen »Strom aufhebt. Sobald die beiden Eiſenſpitzen magnetiſirt ſind, ſey »es durch eine galvaniſche Wirkung oder durch einen kräftigen Magnet, »kann der Bogen zwiſchen ihnen nicht eher zu Stande kommen, als bis »man ſie einander viel weiter nähert, wo dann aber die Erſcheinung ein

»ganz anderes Anſehen hat. Die fortgeführten Theilchen ſcheinen ſich »mit Schwierigkeit von der poſitiven Elektrode abzulöſen, und Funken »ſprühen mit Geräuſch in allen Richtungen fort, während es im erſten »Fall ein lebhaftes Licht ohne Funken und ohne Geräuſch war, begleitet »von dem anſcheinend mit der größten Leichtigkeit geſchehenden Uebergang »einer flüſſigen Maſſe. Es iſt in dieſer Beziehung für das Reſultat des »Verſuchs von geringem Belang, ob die magnetiſirten Eiſenſtäbe an ihren »zugewandten Enden, zwiſchen welchen der Lichtbogen befindlich iſt, gleich- »oder ungleichnamige Pole beſitzen.

»Wenn die poſitive Eiſen-Elektrode ſtark magnetiſirt iſt, ſo bewirkt ſie »im Moment, wo zwiſchen ihr und der negativen Elektrode, aus welchem »Stoff dieſe auch beſtehe, der Lichtbogen zu Stande kommt, ein ſehr ſtar- »kes Geräuſch, ähnlich dem ſcharfen Ziſchen, mit welchem der Waſſerdampf »aus einer Locomotive entweicht. Dies Geräuſch verſchwindet gleichzeitig »mit der Magnetiſirung.

»Um dieſe verſchiedenen Erſcheinungen beſſer zu trennen, ſtellte ich einen »Elektromagnet von großen Dimenſionen und großer Kraft in ſolcher »Weiſe auf, daß ich an jedem ſeiner Pole oder zwiſchen beiden verſchiedene »Metalle als eine der Elektroden der Säule anbringen konnte, während »eine Spitze von demſelben Metall oder einer andern Subſtanz als die »zweite Elektrode diente. Auch wandte ich zwei Spitzen eines ſelben Me- »talls oder verſchiedener Metalle unter gleichen Umſtänden als Elektroden »an. Folgendes ſind die erhaltenen Reſultate.

»Eine Platinplatte wurde auf einen der Pole des Elektromagneten ge- »legt und eine Spitze deſſelben Metalls vertical darüber aufgeſtellt. Die »Platte wurde poſitiv und die Spitze negativ gemacht, und der Volta'ſche »Bogen zwiſchen beiden entwickelt. Im Moment, wie der Elektromagnet »in Thätigkeit geſetzt ward, ließ ſich ein ſcharfes Ziſchen hören. Um den »Bogen zu unterhalten, mußte man die Spitze näher an die Platte brin- »gen, und der blaue kreisrunde Fleck, welcher ſich auf der Platinplatte »zeigte, war größer als wenn man den Verſuch ohne Einfluß des Elektro- »magnets anſtellte.

»† Nun machte man die Platte negativ und die Spitze poſitiv; dadurch »wurde die Erſcheinung eine ganz andere. So wie der Elektromagnet »geladen war, blieb der Lichtbogen nicht mehr vertical, ſondern nahm eine »ſchiefe Richtung an, wie wenn er auswärts, gegen den Rand der Platte, »geſchoben worden wäre. †† Unaufhörlich wurde er unterbrochen, jedes- »mal begleitet von einem ſcharfen und plötzlichen Geräuſch, ähnlich dem der »Entladung einer Leidner Flaſche. Die Richtung, in welcher der Lichtbo- »gen fortgeſchoben wird, hängt von der Richtung des ihn erzeugenden

»Stromes ab, ſo wie auch von der Lage der Platte auf dem einen oder »andern der Magnetpole oder zwiſchen denſelben.

»Eine Platte und eine Spitze, beide von Silber, Kupfer oder einem »andern nicht leicht ſchmelzbaren Metall zeigen im Allgemeinen dieſelben »Erſcheinungen. Kupfer und noch mehr Silber bieten indeß eine merk- »würdige Eigenthümlichkeit dar. Platten von dieſen beiden Metallen be- »halten auf ihrer Oberfläche die Eindrücke der Wirkung, welche bei den »eben beſchriebenen Verſuchen ſtattfinden. Wenn z. B. die Platte poſitiv »iſt, zeigt derjenige Theil ihrer Oberfläche, welcher unter der negativen »Spitze lag, einen Fleck in Form einer Spirale (helix), wie wenn das »daſelbſt geſchmolzene Metall eine wirbelnde Bewegung um ein Centrum »gemacht hätte zur ſelben Zeit, da es in Form eines Kegels gegen die »Spitze gehoben ward.«

Der Anfang iſt klar; nicht ſo die beiden letzten Abſätze. Die Stelle zwiſchen † und †† läßt vermuthen, daß die ſchiefe Richtung des Lichtbo- gens nur dann eintritt, wenn die Platte negativ, die Spitze poſitiv iſt; einige Zeilen ſpäter leſen wir aber, daß die Richtung, in welcher der Licht- bogen fortgeſchoben wird, von der Richtung des erzeugenden Stromes ab- hängt; es muß alſo auch ſtattfinden, wenn die Platte poſitiv und die Spitze negativ iſt. — Außerdem liegt in dieſer Stelle eine dunkle Andeu- tung vom Rotiren des Flammenbogens, aber ſo dunkel, daß der, welcher von dieſer Erſcheinung nichts weiß, nach dieſer Darſtellung ſicherlich keine Vorſtellung davon erhält. Daß dem Genfer Phyſiker dies Rotiren bei Abfaſſung dieſer Stelle wirklich vorgeſchwebt habe, geht auch aus dem Schluß des letzten Abſatzes hervor. — Aehnlichen Uebelſtänden begegnet man in de la Rive's Abhandlungen öfters; ſeine Beſchreibung giebt ſelten ein klar verſtändliches Bild der Erſcheinung. — Es iſt ſehr zu be- dauern, wenn auf ſolche Weiſe die Reſultate ſo mancher ſchönen und ſchwierigen Experimentalunterſuchung nur mangelhaft zur Kenntniß des phyſikaliſchen Publikums kommen.

168 **Benutzung des galvaniſchen Lichtes zur Beleuchtung.** Die große Lichtſtärke des galvaniſchen Kohlenlichtes mußte bald auf die Idee führen, daſſelbe zur Beleuchtung anzuwenden, nachdem durch die Erfin- dung der conſtanten Ketten die Erzeugung deſſelben gegen früher ſehr er- leichtert worden war.

Deleuil hat mehrmals öffentliche Verſuche mit dieſer Art von Be- leuchtung angeſtellt. Das erſtemal beleuchtete er den Pavillon eines Hauſes an der Pont neuf in Paris mit 98 Zinkkohlenelementen. Ache- rau ſtellte ähnliche Verſuche auf dem Concorde Platze an. (Dingler's polyt. Journal, 91. Band, S. 324.)

Wenn auch die Intenſität des galvaniſchen Kohlenlichtes eine enorme iſt, wenn auch eine Batterie von 48 Bunſen'ſchen Elementen ebenſo viel Licht giebt, wie 63 gewöhnliche Gasbrenner, ſo erſcheint doch das galvaniſche Licht zur öffentlichen Beleuchtung unpraktiſch und zwar vorzugsweiſe aus folgenden Gründen.

Eine ungeheure Lichtmenge geht hier von einem einzigen Punkte aus, man wird deshalb ſehr ſchroffe Contraſte zwiſchen Licht und Schatten erhalten; im Schatten herrſcht eine Dunkelheit, die eben wegen des Gegenſatzes zum blendenden Lichte um ſo ſtörender iſt. Jedenfalls erhält man eine angenehmere, gleichförmigere Beleuchtung, wenn man 63 Gasflammen gehörig vertheilt, als wenn man ein ihnen äquivalentes Licht auf einem Punkte concentrirt.

Ein zweiter Umſtand, welcher der Anwendung des galvaniſchen Kohlenlichtes hinderlich iſt, beſteht in der Schwierigkeit, auf längere Zeit eine gleichmäßige Lichtſtärke zu erhalten.

Durch die Bildung von Zinkvitriol nimmt die Leitungsfähigkeit der Flüſſigkeit ſo ſtark ab, daß ſchon nach einer halben Stunde die Stromſtärke bedeutend ſchwächer iſt als anfangs; aber ſelbſt davon abgeſehen, iſt die Unterhaltung der Batterie höchſt koſtſpielig, denn es wird ungleich mehr Zink verzehrt, als zur Unterhaltung des Stromes nöthig iſt, und die Salpeterſäure wirkt zerſtörend auf die Metallringe, welche die Kohlencylinder umgeben. — Den Uebelſtänden, welche die Anwendung der Salpeterſäure mit ſich bringt, ließe ſich zwar durch Anwendung von Daniell'ſchen Elementen entgehen, dann aber müßte man die Batterie bedeutend vergrößern (Seite 299), um gleiche Wirkung zu erhalten.

Von ökonomiſcher Seite empfiehlt ſich alſo die galvaniſche Beleuchtung von Straßen, Sälen, Theatern u. ſ. w. nicht. Dazu kommt noch der Uebelſtand, daß die Behandlung der Säule und des ganzen Apparates zu difficil iſt, als daß man ſie den Perſonen anvertrauen könnte, welche gewöhnlich die Beleuchtung beſorgen, daß die Kohlenſpitzen ſich fortwährend verändern, und man ihre gegenſeitige Stellung alſo auch fortwährend reguliren muß, um die Gleichförmigkeit des Lichtes zu erhalten und ſein Auslöſchen zu verhindern. Durch mechaniſche Mittel iſt dieſe Regulirung ſchwer zu erhalten; doch hat es in dieſer Beziehung nicht an verſchiedenen Vorſchlägen gefehlt. So ließ ſich z. B. le Molt im Jahre 1848 in England einen Apparat zur galvaniſchen Beleuchtung patentiren, in welchem Kohlenſcheiben von der Form Fig. 153 ſtatt der Kohlenſtäbchen angewandt werden. Zwei ſolcher Scheiben ſtehen mit ihren ſcharfen Rändern einander gegenüber; ihre Axe wird durch ein Uhrwerk gleichmäßig umgedreht und ihre Entfernung durch eine Metallfeder regulirt.

Fig. 153.

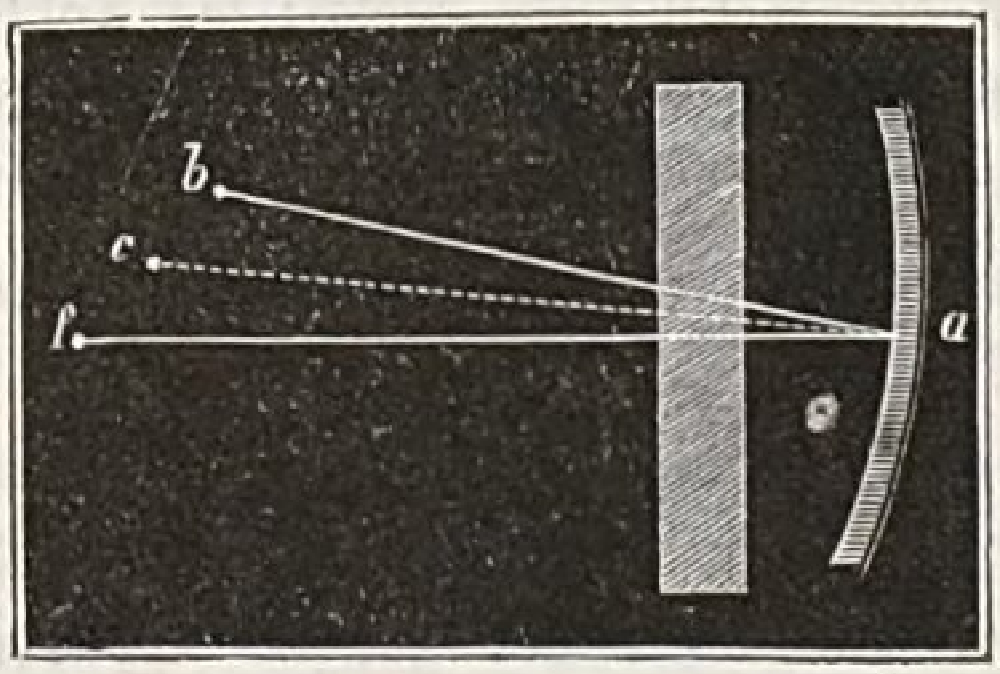
Somit iſt wohl ſchwerlich zu erwarten, daß die Anwendung des Galvanismus zur öffentlichen Beleuchtung praktiſche Erfolge haben wird. Sehr günſtige Reſultate haben dagegen die Verſuche von Donné und Foucault geliefert, welche das Kalklicht des ſogenannten Gasmikroſkop durch das galvaniſche Kohlenlicht erſetzten.

Eine ziemlich vollſtändige Beſchreibung des photo-elektriſchen Mikroſkops von Donné und Foucault findet ſich in der 4ten Auflage von Pouillet's Eléments de physique expérimentale u. ſ. w., im zweiten Theil, S. 746. Wir müſſen uns hier darauf beſchränken, das Weſentlichſte des Apparates anzudeuten. Der Lichtbogen wird zwiſchen Kohlenſtäbchen erzeugt, die aus der harten Kohle geſchnitten ſind, wie ſie die Gasretorten liefern; ſie haben die in Fig. 154 dargeſtellte Form, und zwar iſt das als negative Elektrode dienende Kohlenſtück zugeſpitzt, das andere gerade abgeſtumpft. Dieſe Kohlenſtücke ſind ſo gefaßt, daß ihre Stellung leicht regulirt werden kann.

Fig. 154.

Wie der Beleuchtungsapparat dieſes Mikroſkops eingerichtet iſt, kann der Hauptſache nach aus der ſchematiſchen Fig. 155 erſehen werden. *a* iſt ein Hohlſpiegel von ungefähr 1 Decimeter Oeffnung und 1,6 Decimeter Radius. Das Kohlenlicht befindet ſich bei *b*, etwas näher bei dem Spiegel als dem Krümmungsmittelpunkte *c* deſſelben und etwas höher als *c*, ſo daß die von *b* ausgehenden auf den Spiegel fallenden Strahlen in *f* wieder vereinigt werden und hier den kleinen Gegenſtand ſtark erleuchten, welcher vergrößert dargeſtellt werden ſoll. — Das Linſenſyſtem, welches das vergrößerte Bild des kleinen Gegenſtandes auf einer 4 bis 5 Meter entfernten Wand entwerfen ſoll, iſt ganz ſo eingerichtet, wie bei einem Sonnenmikroſkop.

Fig. 155.



Damit in *f* nicht eine zu große Hitze entſteht, iſt zwiſchen *b* und dem Spiegel ein Gefäß angebracht, deſſen Hauptwände durch Platten von geſchliffenem Spiegelglas gebildet ſind, und welches mit einer Alaunlöſung gefüllt wird, welche einen großen Theil der Wärmeſtrahlen abſorbirt, ohne die Lichtſtärke merklich zu ſchwächen.

Man kann das durch den Hohlſpiegel erzeugte Bild des Flammenbogens in *f* ſelbſt zum Gegenſtand nehmen, welcher durch die Linſen vergrößert dargeſtellt wird, nur muß man alsdann eine ſchwächere Vergrö-

ßerung anwenden. Man erhält ſo ein ſtark vergrößertes Bild des Flammenbogens auf dem weißen Schirme und kann mit Muße alle Erſcheinungen beobachten, welche ihn begleiten.

Man kann das vergrößerte Bild des galvaniſchen Lichtbogens aber auch mit weit einfacheren Mitteln darſtellen; man braucht ihn nur direct nahe an den Brennpunkt einer Linſe von 1 bis 3 Centimeter Brennweite zu bringen. Natürlich muß man dafür ſorgen, daß das Kohlenlicht ſo eingeſchloſſen iſt, daß außer dem Linſenbild kein Licht auf den Schirm fällt. —

Galvaniſche Grubenbeleuchtung. Was von der galvaniſchen Be- 169
leuchtung im Allgemeinen geſagt wurde, gilt auch von den Vorſchlägen zur Grubenbeleuchtung durch Galvanismus; es ſind ſchwerlich viel praktiſche Erfolge davon zu erwarten. Weil man in einem luftleeren Glasgefäß, alſo ganz abgeſperrt von der äußeren Luft, ja unter Waſſer, das galvaniſche Kohlenlicht erzeugen kann, ſo glaubte Bouſſingault, es ließe ſich wohl ſtatt der Davy'ſchen Sicherheitslampe zur Beleuchtung ſolcher Gruben anwenden, in denen entzündliche Gaſe die Anwendung offener Lampen gefährlich macht. Allein man hat in den Gruben gar kein intenſives Licht an einer Stelle, ſondern nur ſchwache Lichte an ſehr verſchiedenen Stellen. Derſelbe Einwand läßt ſich gegen de la Rive's Vorſchläge machen, welcher in einem hermetiſch verſchloſſenen Glasballon den poſitiven Strom von einem vertical ſtehenden Kohlencylinder, zu einem ſenkrecht darüber angebrachten Metallcylinder übergehen läßt. (Dingler's polytechniſches Journal, XCVIII. S. 158 und 232; Moniteur industr. 1845, Nr. 961 und Nr. 965.)

Grove brachte ſtatt des Kohlenlichtes einen galvaniſch glühenden Platindraht in Vorſchlag, welcher ſich in einem hermetiſch verſchloſſenen Glasgefäß befindet. (Dingler's polytechniſches Journal, XCIX. S. 201; Philos. Magazine, December 1845, S. 442.) Er giebt dem Platindraht die Form einer Spirale, was außer dem Vortheil, ein längeres Stück Platindraht auf einen kleineren Raum zu bringen, auch noch den Vortheil hat, daß wegen der geringeren Abkühlung bei gleicher Stromſtärke die Platinſpirale ſtärker glüht, als wenn daſſelbe Drahtſtück geradlinig ausgeſpannt würde.

Ueber die Länge und Dicke des zur Spirale verwendeten Platindrahtes giebt Grove nichts Näheres an, ebenſo fehlen genauere Angaben über die Conſtruction der Platinſpirale; mit 2 bis 3 conſtanten Zinkplatinelementen erhält man auf dieſe Weiſe ein Stunden lang conſtantes Licht. Grove experimentirte bei dieſem Licht; was er that, iſt nicht angegeben, ſo daß alſo dieſe Notiz doch nur eine ſehr mangelhafte Vorſtellung von der Leuchtkraft des Apparates giebt. Zu Grubenarbeiten mag das Licht wohl

vollkommen ausreichen, und ſo iſt dieſer Vorſchlag weit praktiſcher, als die Benutzung des Kohlenlichtes zur Grubenbeleuchtung, namentlich da man nur wenig conſtante Becher dazu nöthig hat, während das Kohlenlicht eine große Batterie in Anſpruch nimmt; da aber auch dieſer Apparat jedenfalls koſtſpieliger und ſchwieriger zu behandeln iſt als die Davy'ſche Sicherheitslampe, ſo iſt in der Praxis wohl ſchwerlich eine große Verbreitung dieſer Beleuchtungsmethode zu erwarten.

Statt der Platinſpirale bringt King einen Streifen von ganz dünn gewalztem Platinblech in Anwendung, welchen er durch den galvalniſchen Strom glühend macht. (London Journal of arts, Juni 1846, S. 348; Dingler's polytechn. Journal CI. S. 12.)

170 **Der galvaniſche Funke.** Die meiſten Beobachter, welche über den galvaniſchen Lichtbogen Verſuche angeſtellt haben, machten die Beobachtung, daß man erſt die beiden Pole in Berührung bringen muß, wenn der Strom ſich bilden ſoll. Waren die Kohlenſpitzen einmal in Berührung, ſo kann man ſie nun von einander entfernen, wobei ſich dann der Lichtbogen bildet. — Die Bildung des Lichtbogens kann man auch anſtatt der Berührung dadurch bewerkſtelligen, daß man zwiſchen den Kohlenſpitzen den Entladungsfunken einer Leidner Flaſche überſchlagen läßt, eine Beobachtung, die Daniell (Phil. Transact. 1839, 89; Pogg. Ann. LX. 379.), und vor ihm ſchon Sturgeon gemacht hatte (Ann. of El. VIII. 507; P. A. XLIX. 122.), welcher glaubt, daß dieſer Verſuch von J. Herſchel herrührt. — Hier wird die Strombildung offenbar dadurch veranlaßt, daß der Funke leitende Partikelchen von einem Pol zum andern überführt.

Selbſt die kräftigen Batterien, welche man zur Erzeugung des Lichtbogens anwandte, haben alſo noch keine hinreichende Spannung, um das Ueberſpringen eines Funkens ſelbſt auf die kleinſten Entfernungen möglich zu machen.

Jakobi hat ſich durch genaue Meſſungen überzeugt, daß die Pole einer Säule von 12 Zinkplatinpaaren bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß ein Funken überſprang (Bulletin der Petersburger Akademie; P. A. XLIV. 633.).

Förmliche Funken hat Gaſſiot mit ſeiner großen Waſſerbatterie erhalten (Phil. Transact. f. 1844. pt. I. p. 39; P. A. LXV. 476.). Dieſe merkwürdige Batterie beſtand aus 3520 Bechern, deren jeder einen Zinkſtab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwaſſer. Die 3520 Glasbecher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Geſtell, einem Bücherrepoſitorium ähnlich, und von 4 ſtarken Ständern getragen, bildeten. Beſondere Sorgfalt war auf

die Iſolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnißt und ſtanden auf Glasplatten, die ebenſo wie die Bretter mit einem ähnlichen Firnißüberzug verſehen waren.

Es ließe ſich wohl erwarten, daß dieſe Batterie im ungeſchloſſenen Zuſtande bedeutende Spannungserſcheinungen hervorbringen mußte; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroſkops ſchon, wenn man es dem einen Pole auf 2 bis 3 Zoll näherte. —

Sobald die Kette geſchloſſen wurde, verſchwanden alle Zeichen von Spannung.

Als die Pole der Batterie auf 0,02 Zoll genähert wurden, ſchlugen unausgeſetzt Funken zwiſchen ihnen über. In einem Fall dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

Da die gewöhnlichen galvaniſchen Ketten gar keine Schlagweite haben, ſo iſt klar, daß die Lichterſcheinungen, welche man beim Schließen und Oeffnen ſelbſt einfacher Ketten beobachtet, ein ganz anderes Phänomen ſeyn muß, als der gewöhnliche elektriſche Funken.

In dem ſo eben angeführten Aufſatz Jakobi's ſpricht er ſeine Anſicht dahin aus, daß der gewöhnliche galvaniſche Funke eine Glüh- und Verbrennungserſcheinung ſey; die äußerſten feinen Spitzen, welche zuerſt in Berührung kommen und welche zuerſt die Stromleitung herſtellen, werden glühend und verbrennen und veranlaſſen dadurch nach Jakobi's Meinung die Lichterſcheinung. Daß bei kräftigeren Funken ſolche Glüh- und Verbrennungserſcheinungen vorkommen, unterliegt keinem Zweifel, allein hier iſt das Phänomen ſchon ein zuſammengeſetztes; man beobachtet den bei der Schließung oder Oeffnung der Kette den Funken unter Umſtänden, wo ein Glühen oder Verbrennen höchſt unwahrſcheinlich iſt.

Neeff hat gezeigt, daß dieſe Lichterſcheinung, wenn ſie ganz einfach ohne ſecundäre Stromwirkungen auftritt, weder ein elektriſcher Funken im gewöhnlichen Sinne des Wortes, d. h. daß es nicht ein von Pol zu Pol überſpringender Funken iſt, noch daß ſie einer Metallverbrennung zugeſchrieben werden kann (P. A. LXVI. 414.).

An ſeinem ſogenannten Magnetelektrometer, wie er in der 3ten Auflage meines Lehrbuches der Phyſik, 2ter Theil, Seite 251, beſchrieben iſt, findet bei *c* eine continuirliche Schließung und Unterbrechung des Stromes ſtatt, welche von einer entſprechenden Lichterſcheinung begleitet iſt. Bei jener Form des Apparates wird die Beobachtung der Lichterſcheinung freilich durch die Breite des Hammers, welcher auf das Platinblättchen ſchlägt, verdeckt. Bei einer von Deſaga in Heidelberg erdachten ſehr zweckmäßigen Modification dieſes Apparates, welche weiter unten näher beſchrie-

ben werden ſoll, iſt der Hammer durch eine Platinſpitze erſetzt, ſo daß in raſcher Aufeinanderfolge die Berührung zwiſchen einer Platinſpitze und einer Platinplatte hergeſtellt und wieder unterbrochen wird.

Wenn der Apparat im Gange iſt, beobachtet man an der Trennungsſtelle eine Lichterſcheinung, welche der Schnelligkeit der Oscillation wegen ganz continuirlich erſcheint.

Schon das bloße Auge beobachtet bei gedämpftem Tageslicht hier ein violettes Licht, der poſitive Strom mag von der Spitze zur Platte, oder von der Platte zur Spitze gehen; aber das Lichtpünktchen iſt überaus klein, und dadurch kam Neeff auf den Gedanken, die Erſcheinung mit dem Mikroſkop zu unterſuchen.

Mit bewaffnetem Auge beobachtete er, daß das Lichtphänomen immer nur am negativen Pol ſtattfindet.

Am beſten beobachtet man die Erſcheinung durch ein Mikroſkop, welches bei 25- bis 50facher Vergrößerung erlaubt, das Objectiv wenigſtens 1½ Zoll weit vom Lichtpunkt anzubringen

Geht der poſitive Strom von der Platte zur Spitze über, ſo erſcheint die Spitze in ein violettes Licht eingehüllt, während die Platte ganz dunkel bleibt.

An dem unterſten Ende der Spitze erſcheinen in dem ſtetigen violetten Lichte einzelne außerordentlich feine Pünktchen von blendend weißem Lichte, welche eine wimmelnde Bewegung zeigen; allein auch bis gegen das obere Ende der violetten Lichthülle hin ſieht man violettes Licht von größerer Intenſität aufblitzen, ohne daß irgend ein Ueberſpringen nach dem andern Pole zu bemerken wäre.

Dies letztere Aufblitzen verſchwindet mehr und mehr, wenn der Strom ſchwächer wird.

Geht der Strom in entgegengeſetzter Richtung, iſt alſo die Spitze poſitiv, ſo erſcheint ſie ganz dunkel, und das violette Licht iſt auf der Platte um den Berührungspunkt herum ausgebreitet.

Hier iſt alſo durchaus kein eigentlicher Funken zu beobachten, allein auch einem Verbrennen des Platins kann dieſer gleichförmige ruhige violette Lichtſchimmer nicht zugeſchrieben werden.

Neeff macht noch beſonders darauf aufmerkſam, daß dieſe Lichterſcheinung auf den negativen Pol beſchränkt iſt, während die ſtärkſte Wärmeentwickelung gerade am poſitiven Pol auftritt.

Fünfter Abſchnitt.

Die chemiſchen Wirkungen des Stromes.

Daniell's Unterſuchungen über Elektrolyſe. Daß die chemi- 171
ſche Zerſetzung, welche ein galvaniſcher Strom hervorbringt, ſtets der Stromſtärke proportional ſey, iſt ein Satz, der wohl jetzt als feſt begründet angeſehen werden kann, und dennoch hat uns eine genauere Unterſuchung der Elektrolyſe verſchiedener Körper Erſcheinungen kennen gelehrt, die wir bis jetzt noch nicht genügend unter dieſes Geſetz zu bringen wiſſen. — Läßt man den Strom gleichzeitig durch eine Tangentenbuſſole und durch ein Voltameter gehen, ſo iſt die Quantität des entwickelten Knallgaſes ſtets der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, mag nun die Flüſſigkeit im Voltameter verdünnte Schwefelſäure, eine Löſung von Phosphorſäure oder auch eine Löſung von ſchwefelſaurem Natron ſeyn. Caſſelmann hat dies in ſeiner ſchon mehrfach erwähnten Abhandlung (Seite 70) durch eine Reihe genauer Verſuche nachgewieſen.

Auf den erſten Anblick ſcheint dies ganz vortrefflich mit dem Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action zu harmoniren; bei der Salzlöſung aber ergab ſich, daß dieſelbe ebenfalls zerlegt war, daß die Säure an der poſitiven, die Baſis an der negativen Polplatte angehäuft war, daß alſo neben der, der Stromſtärke entſprechenden Waſſerzerſetzung auch noch ein Theil des Salzes zerlegt worden iſt.

Dieſe Erſcheinung hat zuerſt Daniell genauer beobachtet und unterſucht. (Phil. Transact. 1839, pt. I., pag. 97; 1840, pt. I., pag. 209; P. A. 1842, Ergänzungsband 565 und 580.)

In den Schließungsbogen einer Säule von 30 conſtanten Zinkkohlenzellen wurde eine Zerſetzungszelle von folgender Einrichtung eingeſchaltet. Ein ſtarker Glascylinder, etwa 14 Kubikzoll faſſend, urſprünglich oben und unten geſchloſſen, war der Länge nach durchſchnitten, dann zwiſchen

beiden Hälften eine poröſe Thonplatte gelegt, und nun das Ganze durch Meſſingringe mit Schrauben wieder vereinigt. — In jeder der beiden ſo gebildeten Zellen befand ſich eine Platinelektrode 2¾ Zoll lang und 1 Zoll breit, befeſtigt an einem Draht, der durch den Boden des Gefäßes geht. Ein oben in jede Zelle eingeſchliffenes gekrümmtes Glasrohr diente zur Fortleitung des entwickelten Gaſes. Ein vorläufiger Verſuch zeigte, daß deſtillirtes Waſſer, mit dem die eine Zelle gefüllt ward, noch nach 24 Stunden nicht in merklicher Menge in die andere gedrungen war.

Fig. 156.

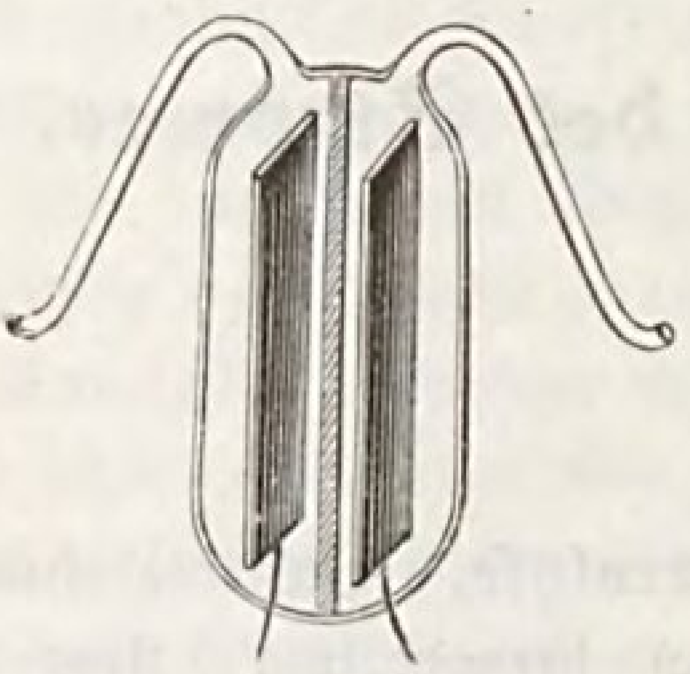


Fig. 156 ſtellt dieſen Apparat, jedoch nur ſchematiſch dar. An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen iſt zwar auf eine Tafel VI. verwieſen, auf welcher die zum Daniell'ſchen Aufſatz gehörigen Figuren ſich befinden ſollen, allein dieſe Tafel fehlt, und zwar in allen Exemplaren, die ich nachſehen konnte.

Der erſte Verſuch, welcher mit dieſem Apparate angeſtellt wurde, war folgender; beide Zellen wurden bis zur Bedeckung der Elektroden mit einer Löſung von ſchwefelſaurem Natron gefüllt, und der Apparat dann ſo lange mit der Batterie in Verbindung erhalten, bis die entwickelten Gaſe zuſammen 29 Kubikzoll (reducirt 28,3 Kubikzoll) betrugen. Dem Gewichte nach waren alſo 3,6 Gran Waſſer zerſetzt worden.

Die Löſung an der negativen Polplatte war ſtark alkaliſch; ſorgfältig mit einem Glasheber herausgenommen und mit Schwefelſäure von beſtimmtem Gehalt geſättigt, fanden ſich darin 12 Gran freien Natrons.

Die Löſung am poſitiven Pol war ſauer und ergab bei Sättigung mit einer Löſung von kohlenſaurem Natron von beſtimmtem Gehalt, 15,1 Gran freier Schwefelſäure.

Setzen wir das Atomgewicht des Sauerſtoffs = 100, ſo iſt das des Waſſers 112,5; das Atomgewicht der Schwefelſäure iſt dann 500 und das des Natrons 390.

Nun verhalten ſich aber

$$112{,}5 : 390 = 3{,}6 : \mathbf{12{,}5}$$

und

$$112{,}5 : 500 = 3{,}6 : \mathbf{16.}$$

Auf 1 Aequivalent zerlegten Waſſers iſt alſo in der einen Zelle ſehr nahe 1 Aequivalent Schwefelſäure, in der andern ſehr nahe 1 Aequivalent Natron ausgeſchieden worden.

Mehrere Verſuche mit andern Salzen gaben daſſelbe Reſultat.

Ueber das Verhältniß der chemiſchen Zerſetzung zur Stromſtärke giebt uns dieſer Verſuch noch gar keinen Anhaltspunkt. Dies Verhältniß würde ſich am einfachſten und präciſeſten ergeben haben, wenn außer der erwähnten Zerſetzungszelle noch eine Tangentenbuſſole in den Strom eingeſchaltet geweſen wäre; leider ſcheint dies Inſtrument in England noch faſt gar nicht bekannt zu ſeyn, wenigſtens wird es wenig angewendet. — Daniell ſchaltete ſtatt deſſen noch ein Voltameter in den Strom ein, welches mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt war; es ergab ſich gleich viel Knallgas im Voltameter und in der mit Glauberſalz gefüllten Zelle, allein es ergab ſich, daß auch in dem Voltameter außer der Waſſerzerſetzung noch eine weitere Wirkung ſtattgefunden hatte, denn die Säure hatte ſich am poſitiven Pole angehäuft.

Deshalb unterſuchte Daniell die Zerſetzung der verdünnten Schwefelſäure in einer mit poröſer Scheidewand verſehenen Zerſetzungszelle genauer und fand, daß, nachdem eine beſtimmte Menge Gas entwickelt war, ſich in der Abtheilung der poſitiven Polplatten im Vergleich zum zerſetzten Waſſer ungefähr $1/4$ Aequivalent Schwefelſäure mehr, in der Abtheilung der negativen Polplatte $1/4$ Aequivalent Schwefelſäure weniger vorhanden war als vor dem Verſuch; es hat alſo hier neben der Waſſerzerſetzung eine der Zerlegung des Salzes analoge Trennung von Waſſer und Schwefelſäure, wenn auch nur zu $1/4$ Aequivalent, ſtattgefunden.

Dieſe Ueberführung von Schwefelſäure im Betrage von nahezu $1/4$ Aequivalent des zerlegten Waſſers war von dem Concentrationsgrade der Säure unabhängig. Daniell hat den Verſuch auf mannichfache Weiſe abgeändert, iſt aber immer zu demſelben Reſultat gekommen.

Ein Voltameter mit Schwefelſäure gefüllt iſt alſo hier nicht anwendbar, um die Stärke des Stromes zu meſſen, welcher durch die Glauberſalzlöſung hindurchgeht.

Außer der mit der Salzlöſung gefüllten Doppelzelle ſchaltete Daniell nun noch geſchmolzenes Chlorblei in den Schließungsbogen der Batterie ein. Es befand ſich in einer gebogenen über einer Weingeiſtlampe befindlichen Röhre von bleifreiem Glaſe; als negativer Pol diente im geſchmolzenen Chlorblei ein Platindraht, während der negative Pol durch Graphit gebildet war. Am Graphit entwich das Chlorgas, am Platindraht ſetzte ſich das ausgeſchiedene Blei ab.

Hier ergab ſich nun folgendes merkwürdige Reſultat. Auf 1 Aequivalent zerſetzten Chlorbleis wurde in der andern Zerſetzungszelle 1 Aequivalent Waſſer und außerdem noch 1 Aequivalent Salz zerlegt.

Nach der gewöhnlichen Betrachtungsweiſe erſcheint alſo in der Salzlöſungszelle eine doppelt ſo große chemiſche Wirkung als diejenige iſt, welche

derſelbe Strom in der Chlorbleizelle hervorbrachte; mit dem Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action ſteht das in directem Widerſpruch.

Um dieſen Widerſpruch zu heben, betrachtet Daniell die Conſtitution der Salze anders, als es gewöhnlich geſchieht; er betrachtet z. B. das ſchwefelſaure Natron nicht als zunächſt gebildet durch die Verbindung von Säure und Baſis, ſondern er nimmt an, der elektronegative Beſtandtheil des Salzes ſey 1 Aequivalent Schwefel mit 4 Aequivalenten Sauerſtoff, während der poſitive Beſtandtheil dieſes Salzes nur Natrium iſt.

Gemäß dieſer Anſicht wäre alſo

Schwefelſaures Natron	nicht	$SO_3.NaO$,	ſondern	$SO_4.Na$,
Schwefelſaures Kali	»	$SO_3.KO$	»	$SO_4.K$,
Salpeterſaures Kali	»	$NO_5.KO$	»	$NO_6.K$,
Phosphorſaures Natron	»	$PO^5/_2.NaO$	»	$PO^7/_2.Na$,
Kupfervitriol	»	$SO_3.CuO$	»	$SO_4.Cu$.

Geht der Strom durch die Auflöſung eines ſolchen Salzes, ſo wird nicht das Waſſer, ſondern das Salz in die eben bezeichneten Beſtandtheile zerlegt. Bei der Elektrolyſation des Glauberſalzes tritt alſo an der poſitiven Polplatte als directe Wirkung der Elektrolyſe SO_4 auf, von dem ſich aber ſogleich O abſcheidet, um gasförmig zu entweichen und SO_3 zurückzulaſſen, während das am andern Pol ausgeſchiedene Na den Sauerſtoff des Waſſers an ſich zieht, und ſo für jedes Aequivalent Na ein Aequivalent Waſſerſtoff entbindet, während das durch ſecundäre Wirkung entſtandene NaO in der Flüſſigkeit gelöſt bleibt.

Ganz ebenſo geht der Proceß bei der Elektrolyſation des Kupfervitriols vor ſich, mit dem einzigen Unterſchiede, daß das am negativen Pol reducirte Kupfer ſich nicht ſogleich wieder oxydirt und dadurch Waſſerſtoff frei macht, ſondern ſich in metalliſcher Form in den negativen Pol anſetzt.

Daniell ſchlägt auch eine dieſer theoretiſchen Anſicht von der Conſtitution der unorganiſchen Salze entſprechende neue Nomenclatur vor; ſo nennt er die Verbindung SO_4 Oxyſulphion, NO_6 Oxynitrion u. ſ. w. Demgemäß iſt

Schwefelſaures Kupferoxyd = Kupferoxyſulphion,
Salpeterſaures Kali = Kaliumoxynitrion
u. ſ. w.

Die Verſuche mit concentrirter Salmiaklöſung ſtimmen ganz mit der Anſicht überein, daß der Salmiak Chlor-Ammonium ſey, alſo zuſammengeſetzt iſt aus dem einfachen Anion (negativer Beſtandtheil) Cl (Chlor) und dem zuſammengeſetzten Kathion (poſitiver Beſtandtheil) NH_4 (Ammonium). Der aus Zinn beſtehende poſitive Pol wurde aufgelöſt, während am negativen Pol Waſſerſtoff und Ammoniak frei wurde, entſtanden durch das Zerfallen von NH_4 in NH_3 und H.

Das ſchwefelſaure Ammoniak iſt demgemäß Ammonium-Oxyſulphion, $SO_4 . NH_4$.

Dieſe Anſichten führen dann auch zu der in der Chemie ſchon mehrfach beſprochenen Verallgemeinerung der Theorie der Waſſerſtoffſäuren, der zu Folge die waſſerhaltigen Sauerſtoffſäuren, wie die Waſſerſtoffſäuren, binäre Verbindungen von Waſſerſtoff mit einem Radical ſind; ſo wäre alſo die Schwefelſäure $SO_4 . H$.

Zwiſchen Schwefelſäurehydrat $SO_4 . H$ und ſchwefelſaurem Natron $NO_4 . Na$ beſtände demnach dieſelbe Beziehung wie zwiſchen Salzſäure ClH und Kochſalz $ClNa$; das H iſt nur durch Na erſetzt.

Mit dieſer Anſicht wollen nun die oben erwähnten Verſuche über die Elektrolyſe der verdünnten Schwefelſäure noch nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelſäurehydrat wirklich Waſſerſtoffoxyſulphion iſt, ſo muß es bei der Elektrolyſe in H und SO_4 zerlegt werden; das am poſitiven Pol freiwerdende Oxyſulphion zerfällt aber ſogleich in SO_3 und O, welch letzterer Beſtandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüſſigkeit zurückbleibt; es müßte alſo für jedes Aequivalent Waſſerſtoffgas, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerſtoffgas, welches an der poſitiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelſäure SO_3 am poſitiven Pol auftreten; den oben angeführten Verſuchen zufolge findet ſich aber nach der Elektrolyſe in der poſitiven Zelle nur $\frac{1}{4}$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Der Verſuch wurde auf mehrfache Weiſe abgeändert, aber ſtets mit demſelben Erfolge.

Ebenſo verhielt ſich Phosphorſäure. Durch die Elektrolyſe wurde der Gehalt an Phosphorſäure in der poſitiven Zelle nur um $\frac{1}{4}$ Aequivalent vermehrt.

Derſelbe Verſuch, mit Aetzkalilauge angeſtellt, zeigte, daß während 1 Aequivalent Waſſer zerſetzt wurde, etwas weniger als $\frac{1}{5}$ Aequivalent Kali zum negativen Pole wanderte.

Barytwaſſer gab gleiche Reſultate wie Aetzkalilauge.

Eine große Stütze würde es für die Daniell'ſche Anſicht geweſen ſeyn, wenn es ihm gelungen wäre, das hypothetiſche Oxyſulphion, SO_4, zu iſoliren. Um dies wo möglich zu erreichen, nahm er die Elektrolyſe verdünnter Schwefelſäure, verdünnter Phosphorſäure, oder einer Löſung von ſchwefelſaurem Natron in einer Uförmig gebogenen, unten mit Scheidewänden verſehenen Zerſetzungszelle vor und erkaltete den Schenkel, welcher die poſitive Polplatte enthielt, mittelſt einer Kältemiſchung bis auf 0^0 F.; er dachte durch die Kälte das Zerfallen von SO_4 in SO_3 und O zu verhindern. Dieſe Verſuche führten aber zu keinem Reſultat.

Daniell machte nun Verſuche mit Löſungen ſaurer Salze. Er be-

reitete eine Löſung von ſaurem ſchwefelſaurem Kali. Nach der Elektrolyſe ergab ſich, daß für jedes Aequivalent Waſſerſtoffgas, welches an dem negativen Pol entwickelt worden war, ein Aequivalent Sauerſtoff am poſitiven Pol aufſtieg, daß aber nur die Zelle des negativen Poles $^1/_5$ Aequivalent Kali und die Zelle des poſitiven Poles $^1/_2$ Aequivalent Schwefelſäure mehr enthielt als vorher, oder mit andern Worten für 1 Aequivalent zerſetzten Waſſers iſt $^1/_5$ Aequivalent Kali zum negativen und $^1/_2$ Aequivalent Schwefelſäure zum poſitiven Pole übergeführt worden.

Dies Reſultat erſcheint auf den erſten Anblick ſehr verwickelt, doch gelang es Daniell, es unter einen einfachen Geſichtspunkt zu bringen. — Nehmen wir nämlich an, die Flüſſigkeit beſtehe aus drei Elektrolyten, Waſſer, neutrales ſchwefelſaures Kali und Schwefelſäurehydrat, oder nach Daniell's Bezeichnung OH, SO_4K und SO_4H. Theilt ſich nun der Strom ſo, daß die Hälfte durch HO, ein Viertel durch SO_4K und ein Viertel durch SO_4H geleitet wird, ſo ergeben ſich als directe Reſultate der Zerſetzung:

Am poſitiven Pol.		Am negativen Pol.
	Aus OH	
$^1/_2$ Aeq. O		$^1/_2$ Aeq. H.
	Aus SO_4K	
$^1/_4$ Aeq. SO_4		$^1/_4$ Aeq. K.
	Aus SO_4H	
$^1/_4$ Aeq. SO_4		$^1/_4$ Aeq. H.

Durch ſecundäre Wirkung zieht jetzt das $^1/_4$ Aeq. Kali $^1/_4$ Aeq. Sauerſtoff an ſich, um $^1/_4$ Aeq. KO zu bilden, wodurch hier $^1/_4$ Aeq. H frei wird, auf der andern Seite aber zerfällt das SO_4 in SO_3 und O, und ſo haben wir

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$^1/_2$ Aeq. O	$^1/_2$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + $^1/_4$ Aeq. O	$^1/_4$ Aeq. KO + $^1/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + $^1/_4$ Aeq. O	$^1/_4$ Aeq. H
$^1/_2$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O,	$^1/_4$ Aeq. KO + 1 Aeq. H,

was in der That mit den Reſultaten des Verſuchs ganz gut übereinſtimmt.

Dies gab nun auch den Schlüſſel, um die Zerſetzung der verdünnten Schwefelſäure zu erklären; ſie iſt ein zuſammengeſetztes Elektrolyt, beſtehend aus Waſſer und Schwefelſäurehydrat; der Strom theilt ſich ſo, daß $^3/_4$ durch das Waſſer, $^1/_4$ durch das Schwefelſäurehydrat geleitet werden und man erhält alſo

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$^3/_4$ Aeq. O	$^3/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_4	$^1/_4$ Aeq. H,

und durch Zerfallen von SO_4

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$^3/_4$ Aeq. O	$^3/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + $^1/_4$ Aeq. O	$^1/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H,

ganz wie es der Verſuch gezeigt hat.

Als Stütze für ſeine Anſicht über die Elektrolyſe ſeiner Salze führt Daniell noch den Umſtand an, daß aus einer neutralen Löſung von Kupfervitriol ſich das Kupfer in einer compacten Maſſe am negativen Pol ausſcheidet und ſich dabei auf's innigſte allen Geſtaltungen deſſelben anſchließt, während das Kupfer ſich mehr in pulverförmigem Zuſtande niederſchlägt, wenn die Löſung ſtark ſauer iſt.

So lange die Löſung neutral iſt, wird nur $SO_4.K$ zerlegt und alſo nur K an der Platinode ausgeſchieden, während bei einer ſauren Löſung auch noch HO und SO_4H elektrolyſirt wird und alſo am negativen Pol neben K auch noch H frei wird.

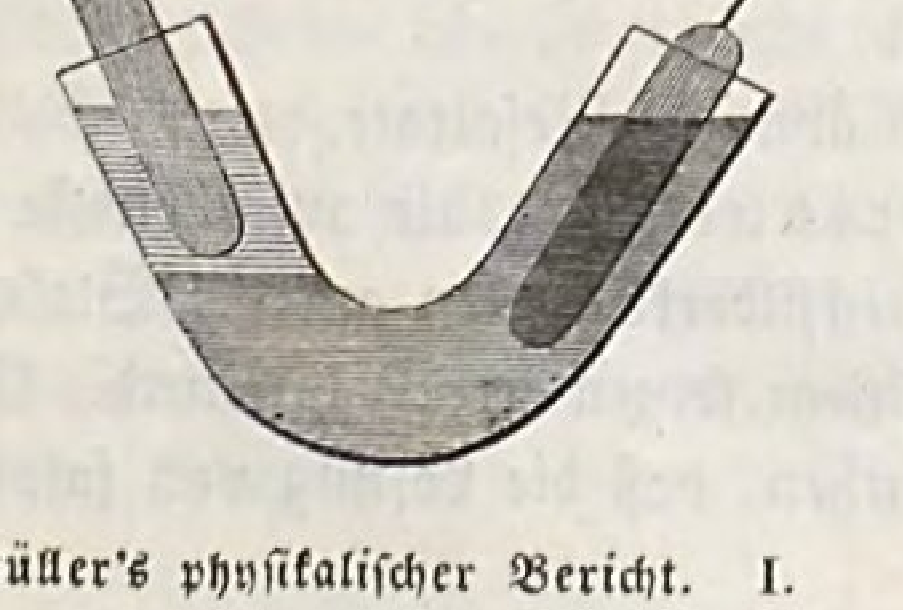
Am Schluſſe ſeiner Abhandlung theilt der Verfaſſer noch einige nachträgliche Beobachtungen über Elektrolyſe ſecundärer Verbindungen mit.

Er unterſuchte kohlenſaures Kali, Natron und Ammoniak und fand, daß die Kohlenſäure und der Sauerſtoff, welche beide als Gaſe am poſitiven Pol frei wurden, äquivalent waren dem Alkali und Waſſerſtoff am negativen Pol. Er betrachtet demnach auch die kohlenſauren Salze als Oxycarbonione von Kalium, Natrium, Ammonium u. ſ. w.

Niederſchläge an den Scheidewänden. In dem eben beſprochenen Aufſatze beſchreibt Daniell noch einige weitere, ſehr intereſſante Erſcheinungen, die wir, um den Gang nicht zu unterbrechen, erſt jetzt in beſonderen Paragraphen betrachten wollen, nämlich: Niederſchläge an den Scheidewänden und die Anhäufung der Flüſſigkeit am negativen Pol. 172

Schon Faraday hat gefunden, daß wenn der poſitive Pol in einer concentrirten Löſung von Bitterſalz ſich befindet, der negative aber in Waſſer, welches auf dem Bitterſalz ſchwimmt (man kann den Verſuch am einfachſten auf die in Fig 157 angedeutete Weiſe anſtellen), daß alsdann bei Durchleitung eines ſehr kräftigen Stromes Bittererde an der Berührungsfläche beider Flüſſig-

Fig. 157.



keiten ausgeſchieden wird. Im Waſſer wandert der Sauerſtoff gegen den +Pol hin, in der Bitterſalzlöſung aber das Magneſium gegen den —Pol: wo ſich beide an der Gränzfläche der Flüſſigkeiten begegnen, verbinden ſie ſich zu Bittererde, welche ausgeſchieden wird.

Aehnliche Beobachtungen theilt nun Daniell in dem erwähnten Aufſatz mit.

Einen unten durch Blaſe verſchloſſenen Glascylinder füllte er mit verdünnter Aetzkalilöſung und ließ denſelben in ein weiteres Glas, welches concentrirte und neutrale Löſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd enthielt, ſo weit hinab, daß er ſo eben in die Löſung eintauchte. Dann tauchte er in die Kalilöſung die negative, in die Löſung des Kupfervitriols die poſitive Polplatte einer Batterie von 20 Zellen. Am negativen Pol entwickelte ſich Waſſerſtoffgas, an dem poſitiven Sauerſtoff, während die Blaſe, von der auch etwas Gas aufſtieg, ſich reichlich mit metalliſchem Kupfer bekleidete, in welches Kupferoxyd und blaues Kupferoxydhydrat eingeſprengt waren.

Dieſer Vorgang erklärt ſich ſo. Das ſchwefelſaure Kupferoxyd zerfällt in SO_4 und Cu; erſteres geht zum poſitiven Pol, letzteres, das Kupfer, wandert zur Blaſe, wird hier aufgehalten und tritt dem aus der Elektrolyſe der Kalilöſung entſpringenden Waſſerſtoff ſeine Ladung ab, der ſich nun am negativen Pole entwickelt. Andererſeits wird auch der Sauerſtoff der Kalilöſung auf ſeinem Wege gegen den poſitiven Pol durch die Blaſe aufgehalten, giebt ſeine Ladung an das dorthin wandernde SO_4 ab und verbindet ſich mit dem Kupfer, dem er an der Blaſe begegnet. Indeß iſt die Wirkung zu raſch, als daß dieſe Verbindung vollſtändig vor ſich gehen könnte, ein Theil des Kupfers ſetzt ſich metalliſch an der Blaſe ab, während ein Theil des Sauerſtoffs von ihr gasförmig aufſteigt.

In der That verſchwindet das metalliſche Kupfer um ſo mehr, je ſchwächer der Strom wird. Bei ſchwächeren Strömen bedeckte ſich die Blaſe mit einem dicken Ueberzug von Kupferoxyd, in welchem nur einige Flitterchen Kupfer ſichtbar waren.

Aus ſalpeterſaurem Silberoxyd ſchlug ſich auf die Blaſe viel Silber nieder, gemiſcht mit Silberoxyd; auch entwickelte ſich Gas an der Blaſe. An dem poſitiven Pol entwich nicht der geſammte Sauerſtoff, ſondern ein Theil deſſelben verband ſich durch ſecundäre Action mit dem Silberoxyd der Löſung zu Hyperoxyd.

Salpeterſaures Bleioxyd gab ähnliche Reſultate.

Salpeterſaures Queckſilberoxydul zeigte die auffallendſte Erſcheinung. Nicht nur lagerten ſich Queckſilberkügelchen auf der Blaſe ab, ſondern dieſe drangen fortwährend in einem feinen Regen hindurch. (Dieſer Ausdrucksweiſe zufolge iſt zu vermuthen, daß die Löſung von ſalpeter=

ſaurem Queckſilberoxydul mit dem poſitiven Pol ſich innerhalb der zugebundenen Röhre befand.)

Anhäufung von Flüſſigkeit am negativen Pol. Die Erſchei- 173
nung, daß Flüſſigkeiten unzerſetzt von der einen Elektrode zu der andern fortgeführt werden, iſt zuerſt von Porret beobachtet worden (Annals of Philosoph. Jul. 1816; P. A. XII. 618.). Er theilte ein Glas durch eine Scheidewand von thieriſcher Blaſe in zwei Zellen, füllte dieſe mit Waſſer und hing in jede eine Platinplatte, die er dann mit den Polen einer Säule von 80 Plattenpaaren verband. Dabei wurde faſt die geſammte Flüſſigkeit in die negative Zelle getrieben. Dieſe Erſcheinung fand nicht ſtatt, wenn das Waſſer durch Zuſatz von Schwefelſäure leitender gemacht wurde.

Daniell füllte ſeine Zerſetzungszelle mit deſtillirtem Waſſer. Bei Verbindung dieſer mit einer Batterie von 30 Zellen erſchienen nur wenig Blaſen an den Elektroden (wieder ein Fall, wo die Einſchaltung einer Tangentenbuſſole ſehr wünſchenswerth geweſen wäre), und es entwickelte ſich nichts; allein nach 40 Minuten ſtand die Flüſſigkeit an dem negativen Pol $1/2$ Zoll höher als am poſitiven. Als er in dem Waſſer an dem poſitiven Pol etwas friſch gefälltes Eiweiß vertheilte, wurde ſichtbar eine Portion dieſer fein vertheilten Subſtanz mit dem Waſſer zu dem negativen Pol geführt.

Bei Füllung der Zelle mit einer Miſchung von 8 Theilen Waſſer und 1 Theil Schwefelſäure, trat kein Niveauunterſchied ein.

Die Erſcheinung hängt jedoch nicht vom Leitungsvermögen ab, denn ſie zeigt ſich bei gut leitenden Salzlöſungen oft noch ſtärker, als bei reinem Waſſer.

Als eine Löſung von Glauberſalz in der durch die poröſe Wand getrennten Zelle ſich befand, ſtieg die Flüſſigkeit in der negativen Zelle um $1^1/_2$ Zoll, während daſelbſt 9 Kubikzoll Sauerſtoffgas frei wurden; bei phosphorſaurem Natron betrug der Höhenunterſchied 2 Zoll. Salpeterſaures Kali zeigte die Erſcheinung in weit geringerem Maaße.

Um zu ermitteln, ob bei dieſem Fortführungsproceß die ganze Flüſſigkeit fortgeführt wird, oder nur das Salz oder das Waſſer, nahm Daniell das ſpecifiſche Gewicht vor und nach dem Proceß, ohne einen merklichen Unterſchied zu finden.

Was auch die nächſte Urſache dieſer Erſcheinung ſeyn mag, ſo ſcheint ſie doch Analogie zu haben mit der Ueberführung gut leitender Subſtanzen, die bei der Bildung des Flammenbogens die Verbindung der beiden Pole unterhalten.

Daniell glaubt übrigens, daß dieſer Proceß nichts mit der Endosmoſe zu thun habe. —

174 **Elektrolyſe polybaſiſcher Salze.** Daniell hat ſeine Unterſuchungen über Elektrolyſe im Verein mit Miller auch noch auf complicirtere Fälle ausgedehnt (Phil. Transact. f. 1844 pt. I, P. A. LXIV. 18), von denen wir zunächſt die Elektrolyſe der verſchiedenen Modificationen phosphorſaurer Salze näher betrachten wollen.

Um aber dieſe intereſſanten Erſcheinungen auch Denen verſtändlich zu machen, welchen die Details über die Conſtitution der phosphorſauren Salze nicht genügend bekannt ſind, will ich das Weſentlichſte davon kurz auseinanderſetzen, mit der Bemerkung, daß man dieſen Gegenſtand mit ganz beſonderer Klarheit im Otto=Graham's Lehrbuch der Chemie, 2te Auflage, 2ten Bandes, 1ſte Hälfte, S. 380, behandelt findet.

Die gewöhnliche Phosphorſäure PO_5 bildet drei verſchiedene Natronſalze, nämlich:

$$3\,NaO,\ PO_5 \quad .\ .\ .\ .\ 1)$$
$$2\,NaO\,HO,\ PO_5 \quad .\ .\ .\ 2)$$
$$NaO\,2\,HO,\ PO_5 \quad .\ .\ .\ 3),$$

von denen das zweite das gewöhnliche phosphorſaure Natron der Officinen iſt; es wurde ſonſt das neutrale genannt, während man das erſte als das baſiſche, das letzte als das ſaure bezeichnete.

In Nro. 2 iſt HO, in Nro. 3 aber $2\,HO$ ein weſentlicher Beſtandtheil des Salzes, es vertritt die Stelle von 1 Aequivalent Baſis, ſo daß hier alſo ſtets 1 Aeq. Säure mit 3 Aeq. Baſis verbunden iſt.

Setzt man der Löſung von Nro. 2 eine Auflöſung von eſſigſaurem Blei zu, ſo erhält man einen Niederſchlag von phosphorſaurem Bleioxyd, welches ebenfalls 3 Aeq. Baſis auf 1 Aeq Säure enthält, es iſt alſo dieſer Niederſchlag $3\,PbO,\ PO_5$.

Eine Auflöſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd fällt aus einer Löſung von Nro. 2 das dreibaſiſche phosphorſaure Silberoxyd $3\,AgO,\ PO_5$, welches durch ſeine gelbe Farbe ausgezeichnet iſt.

Dieſe Modification der Phosphorſäure, welche dadurch charakteriſirt iſt, daß ſie immer 3 Aequivalente Baſis ſättigt, wird deshalb die dreibaſiſche Phosphorſäure genannt und auch als cPhosphorſäure bezeichnet. Sind die 3 Aeq. Baſis durch 3 Aeq. Waſſer vertreten, ſo bildet dieſe Verbindung das cPhosphorſäurehydrat, das Phosphorſäureterhydrat oder das dreibaſiſche phosphorſaure Waſſer.

Wird das gewöhnliche phosphorſaure Natron $2\,NaO\,HO,\ PO_5$ geglüht, ſo wird ſeine Natur ganz geändert. Nach dem Wiederauflöſen liefert es Kryſtalle eines ganz anderen Salzes, welches man zuerſt pyrophosphorſaures Natron nannte. Beim Glühen iſt nämlich das Aequivalent baſiſchen Waſſers ausgetrieben worden, man hat nun ein Salz, wel=

ches auf 1 Aeq. PO_5 nur 2 Aeq. Natron enthält, das neue Salz iſt $2NaO, PO_5$.

Durch Zuſatz von eſſigſaurem Bleioxyd wird zweibaſiſches phosphorſaures Bleioxyd $2PbO, PO_5$ niedergeſchlagen, welches, durch Schwefelwaſſerſtoff zerlegt, die Löſung der zweibaſiſchen Phosphorſäure oder der bPhosphorſäure liefert.

Graham betrachtet dieſe verdünnte Säure als die Löſung des Hydrats $2HO, PO_5$, welches er das Deutohydrat der Phosphorſäure nennt.

Wird dieſe Säure mit Baſen geſättigt, ſo verbinden ſich ſtets 2 Aeq. Baſis mit 1 Aeq. Säure. Das bphosphorſaure Natron giebt bei Zuſatz von ſalpeterſaurem Silber einen weißen Niederſchlag von bphosphorſaurem Silber, $2AgO, PO_5$; während das dreibaſiſche Silberſalz, wie bereits angeführt worden, eine gelbe Farbe beſitzt.

Durch Glühen des früher unter dem Namen des ſauren phosphorſauren Natrons bekannten Salzes, $NaO\,2HO, PO_5$, werden die 2 Aeq. Waſſer ausgetrieben, es bleibt das einbaſiſche phosphorſaure Natron oder das aphosphorſaure Natron NaO, PO_5; durch Zuſatz von eſſigſaurem Bleioxyd oder ſalpeterſaurem Silberoxyd erhält man die entſprechenden Blei- und Silberſalze PbO, PO_5 und AgO, PO_5. Dieſe Salze zeichnen ſich durch eine gelatinöſe Beſchaffenheit aus.

Das Hydrat der einbaſigen Phosphorſäure HO, PO_5, das aPhosphorſäurehydrat oder Phosphorſäureprotohydrat zeichnet ſich von den anderen Phosphorſäurehydraten auch dadurch aus, daß es in einer Auflöſung von Eiweiß einen weißen Niederſchlag hervorbringt.

Sowohl das a- als auch das bPhosphorſäurehydrat geht bei Erwärmung ſeiner Löſung in Waſſer in die gewöhnliche Phosphorſäure über.

Wenden wir uns nun zu den Verſuchen Daniell's und Miller's über die Elektrolyſe phosphorſaurer Salze ſelbſt.

Eine ſtarke Löſung des dreibaſiſchen phosphorſauren Natrons und Waſſers $2NaO\,HO, PO_5$ wurde in die negative, auf die andere Seite der Doppelzelle eine verdünnte Natronlöſung gebracht. Bei Hindurchleitung des Stromes einer conſtanten Batterie von 20 Bechern wurde Sauerſtoff am poſitiven, Waſſerſtoff am negativen Pole ausgeſchieden; der Strom wurde unterbrochen, nachdem 48 Kubikzoll Waſſerſtoffgas entwickelt worden waren. Die Flüſſigkeit in der Zelle des poſitiven Pols, ſorgfältig mit Salpeterſäure geſättigt, gab mit ſalpeterſaurem Silber einen reichlichen gelben Niederſchlag, es war alſo offenbar cPhosphorſäure in die poſitive Zelle übergegangen.

Gleiches Reſultat ergab ſich, als man ſtatt des Salzes $2NaO\,HO, PO_5$

die Auflöſung des Salzes 3 NaO, PO_5 in die negative Zelle brachte, auch hier fand ſich nach Beendigung der Elektrolyſe dreibaſiſche Phosphorſäure in den negativen Zellen.

Als dagegen in die Abtheilung des negativen Poles eine Auflöſung des zweibaſiſchen phosphorſauren Natrons 2 NaO, PO_5 gebracht wurde, fand ſich nach Beendigung der Elektrolyſe, daß auch bPhosphorſäure in die Natronlöſung der poſitiven Zelle übergegangen war, denn die Flüſſigkeit dieſer Abtheilung gab mit Salpeterſäure neutraliſirt bei Zuſatz von ſalpeterſaurem Silber einen weißen Niederſchlag.

Endlich wurde die Löſung des monobaſiſchen phosphorſauren Natrons NaO, PO_5 unter gleichen Umſtänden elektrolyſirt, mit ſalpeterſaurem Silber gab nach Beendigung der Elektrolyſe die Flüſſigkeit des poſitiven Poles einen weißen gelatinöſen Niederſchlag, es war alſo aPhosphorſäure in die poſitive Zelle übergegangen.

Wir haben hier die merkwürdige Erſcheinung, daß derſelbe Körper PO_5 bei gleicher Zuſammenſetzung in verſchiedenen Modificationen vorkommt, die man gewöhnlich einem allotropiſchen Zuſtande zuſchreibt; PO_5 ſättigt unter Umſtänden nur 1 oder 2 oder 3 Aequivalente Baſis. Bei der Elektrolyſe der phosphorſauren Salze tritt nun die Phosphorſäure an der poſitiven Elektrode ſtets in derſelben Modification auf, in welcher ſie in der negativen Zelle im Salz enthalten war. Aus einem dreibaſiſchen Salz wandert die cPhosphorſäure, aus einem zweibaſiſchen Salz die bPhosphorſäure, aus einem einbaſiſchen Salz die aPhosphorſäure zur poſitiven Elektrode über.

Die Anſicht, welche Daniell durch ſeine Verſuche über Elektrolyſe von der Conſtitution der Salze gewonnen hat, und welche wir im Paragraph 171 kennen lernten, ſtimmt mit den eben beſprochenen Eigenthümlichkeiten und dem elektrolytiſchen Verhalten der phosphorſauren Salze ganz gut überein. Nach dieſer Theorie muß man betrachten

3 NaO, PO_5 als $Na_3 + PO_8$ Natrium-Tritoxyphosphion,
2 NaO, PO_5 als $Na_2 + PO_7$ Natrium-Deutoxyphosphion,
NaO, PO_5 als $Na + PO_6$ Natrium-Protoxyphosphion.

Bei der Elektrolyſe von Natrium-Tritoxyphosphion wird Na_3 an dem negativen Pol ausgeſchieden, während PO_8 zum poſitiven wandert. Indem ſich die 3 Aeq. Na oxydiren, werden am poſitiven Pole 3 Aeq. H entwickelt, während am anderen Pol 3 Aeq. H zu PO_8 treten, um $H_3 + PO_8$, das heißt das Ter- oder Tritohydrat, zu bilden, wobei denn natürlich 3 Aeq. Sauerſtoff am poſitiven Pol entweichen müſſen.

Bei der Elektrolyſe des Natrium-Deutoxyphosphions wandert PO_7 zum poſitiven Pol und entwickelt 2 Aeq. Sauerſtoff, indem es ſich mit H_2 zu $H_2 + PO_7$, d. h. zum Deutohydrat, verbindet, während am an-

deren Pol 2 Aeq. Natron gebildet und 2 Aeq. Waſſerſtoff entwickelt werden.

Bei der Elektrolyſe des monobaſiſchen Salzes wandert PO_6 zum poſitiven Pol und bildet das Protohydrat $H + PO_6$.

Elektrolyſe arſenigſaurer und ſchwefligſaurer Salze. Die eng- 175
liſchen Phyſiker wandten ſich nun zur Elektrolyſe von Salzen, deren Säuren auf einer niedrigeren Oxydationsſtufe ſtehen, als die bisher betrachteten.

In die negative Zelle wurde eine Löſung von arſenigſaurem Kali ($KO + AsO_3$) in die poſitive Zelle Kalilöſung gebracht. Am poſitiven Pol wurde Sauerſtoff entwickelt, am negativen aber erſchien kein Waſſerſtoff, ſondern er bedeckte ſich mit metalliſchem Arſenik. Durch die Elektrolyſe war, nach Daniell's Anſicht, in der negativen Zelle K ausgeſchieden worden, welches durch ſeine Oxydation Arſenik reducirte; AsO_4 war in die poſitive Zelle gewandert, 1 Aeq. Sauerſtoff wurde frei, die zurückbleibende arſenige Säure bildete mit dem vorhandenen Kali arſenigſaures Kali.

Schwefligſaures Kali ($KO + SO_2$) in beiden Zellen gab Waſſerſtoff an der negativen, aber kein Sauerſtoff an der poſitiven Polplatte, dagegen bildete ſich Schwefelſäure in der poſitiven Zelle, welche durch ihre Einwirkung auf das ſchwefligſaure Salz auch etwas ſchweflige Säure entwickelte. Durch den Strom wurde auf der einen Seite K ausgeſchieden und durch deſſen Oxydation Waſſerſtoff entwickelt; $SO_2 + O$, welches Daniell als Suboxyſulphion bezeichnet, wanderte nach der anderen Seite und trat dort als SO_3 auf.

Unterſchwefligſaures Natron ($NaO + S_2O_2$) gab einen ähnlichen Erfolg. Am negativen Pol entwickelten ſich Waſſerſtoff, am poſitiven kein Gas, doch machte ſich hier ein ſtarker Geruch nach ſchwefliger Säure geltend, welcher von einer allmäligen Ablagerung von Schwefel begleitet war. $S_2O_2 + O$ wandert nach dem poſitiven Pol, zerfällt in $S + SO_3$, und durch die Einwirkung der Schwefelſäure auf das umgebende Salz wird ſchweflige Säure entwickelt.

Die Verſuche über die Elektrolyſe des gelben und rothen Cyaneiſenkaliums können wir hier nicht näher beſprechen.

Ueberführung der Baſen. Bei der Elektrolyſe der phosphorſauren 176
Salze war die Säure in die poſitive mit Natronlöſung gefüllte Zelle übergeführt worden. Daniell wollte nun verſuchen, umgekehrt, aus der poſitiven Zelle die Baſen in die mit Säure gefüllte negative Zelle überzuführen.

Bei Anwendung einer Löſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd-Kali $CuO.SO_3 + KO.SO_3$ wurden nur Spuren von Kupfer in die negative Zelle übergeführt und an dem negativen Pole abgelagert, dagegen ergab ſich nach Unterbrechung des Verſuchs, daß im Vergleich zu den entwickelten Gaſen ¼ Aeq. Kali in die negative Zelle übergetreten war.

Eine Löſung von ſchwefelſaurem Thonerde-Kali (Alaun, $Al_2O_3.3SO_3 + KO.SO_3$) gab ähnliche Reſultate, es war Kali in demſelben Verhältniß, wie im vorigen Verſuch, zur negativen Zelle übergangen, aber keine Thonerde.

Aus einer Löſung von ſchwefelſaurem Bittererde-Kali ($MgO.SO_3 + KO.SO_3$) war ebenfalls nur Kali nebſt einer ſehr unbedeutenden Menge von Bittererde übergegangen.

Statt der Doppelſalze wurden nun der Reihe nach die Löſung von ſchwefelſaurer Thonerde ($Al_2O_3.3SO_3$), ſchwefelſaurem Eiſenoxyd ($Fe_2O_3.3SO_3$) und Kupfervitriol ($CuO.SO_3$) in die poſitive Zelle, in die negative aber verdünnte Schwefelſäure gebracht. Weder Thonerde, noch Eiſenoxyd, noch Kupferoxyd gingen in merklicher Menge in die negative Zelle über.

Beide Zellen wurden mit einer Löſung von Kupfervitriol gefüllt. Am negativen Pol ſchlug ſich Kupfer nieder, die Löſung wurde an Kupfer ärmer; in die andere Zelle war 1 Aeq. Schwefelſäure übergegangen, aber der Kupfergehalt unverändert geblieben; es war alſo kein Kupfer von der poſitiven Zelle in die negative übergegangen.

Zinkvitriol verhielt ſich eben ſo.

Dieſe Erſcheinung iſt aber nicht etwa dem Einfluß der Scheidewand zuzuſchreiben. Als ein langes Rohr mit aufrechten Schenkeln mit Kupfervitriollöſung gefüllt wurde und an den Enden zwei Kupferſtreifen als Elektroden eingetaucht wurden, ward die Flüſſigkeit im negativen Schenkel heller, im poſitiven aber dunkler.

Sonach, ſagt Daniell, ſcheint es feſtgeſtellt, daß bei der Elektrolyſe derjenigen Metalle, welche bei gewöhnlicher Temperatur das Waſſer zerſetzen oder deren Oxyde ſehr löslich im Waſſer ſind, der Fortführung in der Volta'ſchen Kette vom poſitiven zum negativen Pol fähig ſind, während diejenigen, welche keine ſo ſtarke Verwandtſchaft zum Sauerſtoff beſitzen, ihren Ort behaupten.

Bei unbefangener Betrachtung des Umſtandes, daß gewiſſe Baſen bei der Elektrolyſe der Löſungen ihre Salze nicht nach dem negativen Pol hin wandern, drängt ſich ſogleich die Anſicht auf, daß in dieſem Fall nicht das Salz direct elektrolyſirt werde und den Strom leite, ſondern daß ſeine Zerlegung nur eine ſecundäre Erſcheinung ſey. Wenn an der nega-

tiven Polplatte aus einer Löſung von Kupfervitriol metalliſches Kupfer niedergeſchlagen wird, ohne daß Kupfer von der anderen Seite herüberwandert, während doch 1 Aeq. Schwefelſäure zum poſitiven Pol geht, ſo läßt ſich dies kaum anders erklären, als daß direct SO_4H elektrolyſirt werde; H wandert zum negativen Pol und reducirt dort 1 Aeq. Kupfer, SO_4 geht zum poſitiven, entwickelt 1 Aeq. O mit Zurücklaſſung von 1 Aequivalent SO_3. Das ſtimmt nun freilich nicht mit den Daniell'ſchen Anſichten überein, welche wir ſchon im Paragraph kennen lernten, die jedoch auf alle Fälle anwendbar iſt, wo die Baſis des zerlegten Salzes ebenfalls eine Ueberführung erleidet, wie z. B. bei der Elektrolyſe von $KO + SO_3$.

Becquerel's Unterſuchungen über die Geſetze der elektrochemiſchen Zerſetzung. 177 Auch der jüngere Becquerel hat intereſſante Unterſuchungen über die Geſetze der Elektrolyſe angeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Sér. III, T. XI, p. 162 und 257, im Auszug in Pogg. Ann. LXV, 461). Faraday hatte den Grundſatz aufgeſtellt, daß unter den verſchiedenen Verbindungen, die zwei Elemente mit einander eingehen können, nur diejenigen durch den Strom zerſetzt werden, die aus gleich viel Aequivalenten von jedem beſtehen.

Schon Matteucci hat es wahrſcheinlich gemacht (Bibl. univers. Sér. nouv. T. XXI, p. 153), daß dieſer Satz nicht allgemein gültig ſey, und Becquerel hat es durch zahlreiche Verſuche außer Zweifel geſetzt.

Zunächſt unterſuchte Becquerel mehrere Chlormetalle, und zwar bald in geſchmolzenem Zuſtande, bald als geſättigte wäſſerige Löſung. Bei Anwendung der geſchmolzenen Chlormetalle wirkt beſonders der Umſtand auf die Genauigkeit des Reſultates ſtörend ein, daß das am poſitiven Pol ausgeſchiedene Chlor, in der Flüſſigkeit ſich verbreitend, das am negativen Pol niedergeſchlagene Metall theilweiſe wieder auflöſte, ſo daß man immer etwas zu wenig Metall erhielt. Deshalb wandte Becquerel meiſt die Chlormetalle, in einer ſchicklichen Flüſſigkeit gelöſt, an, nachdem er ſich überzeugt hatte, daß aus ihnen ſtets gleich viel Metall niedergeſchlagen wird, wie aus der geſchmolzenen Chlorverbindung, und daß auch bei dieſen Löſungen nur das Chlormetall, nicht das Waſſer elektrolyſirt werde, denn es entwickelte ſich am poſitiven Pol ſtets Chlor und nicht Sauerſtoff, wie es hätte der Fall ſeyn müſſen, wenn auch nur theilweiſe das Waſſer wäre elektrolyſirt worden.

Die zu unterſuchende Löſung befand ſich in zwei durch einen Heber verbundenen Gefäßen, deren jedes eine Elektrode aufnahm. Die negative Elektrode war gewöhnlich von Platin, die poſitive bald von dieſem bald von jenem Metall.

War die Löſung von der Art, daß ſie durch die Luft eine Zerſetzung erlitt, ſo ſtand ſie unter einer Glocke mit Hahn, die ausgepumpt oder mit einem unſchädlichen Gas gefüllt werden konnte.

Außer dieſem Zerſetzungsapparat war ein Voltometer in die Bahn des Stromes eingeſchaltet, der gewöhnlich durch eine Batterie von 30 ſchwach geladenen Elementen hervorgebracht war.

Folgende Tabelle giebt die Reſultate einer erſten Verſuchsreihe.

		Gelöſt in	Zerſetztes Waſſer Milligramm	Gefälltes Metall berechnet	Gefälltes Metall gefunden
				Milligramm	
Zinnchlorür . .	$Sn\,Cl$	Waſſer	3,81	24,9	25,0
Chlorſilber . .	$Ag\,Cl$	Ammoniak	1,29	15,5	16,5
Eiſenchlorür . .	$Fe\,Cl$	Waſſer	1,5	4,6	5,0
Kupferchlorür . .	$Cu_2\,Cl$	Salzſäure	1,93	6,78	13,5
Antimonchlorid .	$Sb_2\,Cl_3$	desgl.	11,0	78,8	51,5
desgl. 2ter Verſuch . .		desgl.	1,29	9,2	6,0

Die dritte Columne giebt die Quantität des im Voltameter zerſetzten Waſſers an, in der vierten Columne findet man, wie viel Metall an der negativen Elektrode des Zerſetzungsapparates hätte niedergeſchlagen werden müſſen, wenn für jedes Aequivalent im Voltameter zerſetzten Waſſers hier 1 Aeq. Metall ausgeſchieden würde; die fünfte Columne endlich giebt die wirklich niedergeſchlagenen Metallmengen an.

In den drei erſten Fällen wurde wirklich für 1 Aeq. Waſſer, welches im Voltameter zerſetzt wurde, auch 1 Aeq. Metall an der negativen Polplatte des Zerſetzungsapparates niedergeſchlagen; in allen den drei Fällen beſtanden aber auch die elektrolyſirten Chlormetalle aus 1 Aeq. Metall auf 1 Aeq. Chlor.

Das Kupferchlorür enthält 2 Aeq. Kupfer auf 1 Aeq. Chlor, und in dieſem Falle wurden auch im Vergleich zu dem im Voltameter zerſetzten Waſſer 2 Aeq. Kupfer im Zerſetzungsapparat niedergeſchlagen.

Aus dem Antimonchlorid wurden nur $^2/_3$ Aequivalent Antimon entwickelt, und in der That enthält es auch nur $^2/_3$ Aeq. Metall auf 1 Aequivalent Chlor.

Berechnet man die zum poſitiven Pol des Zerſetzungsapparates ge=

führte Menge Chlor, ſo ergiebt ſich, daß gegen jedes Aequivalent zerſetzten Waſſers auch 1 Aeq. Chlor entwickelt wurde.

Dieſes Geſetz erhielt eine fernere Beſtätigung durch eine weitere Verſuchsreihe, in welcher nicht das gefällte Metall, ſondern das ausgeſchiedene Chlor beſtimmt ward, und zwar durch den Verluſt, welchen die aus Kupfer beſtehende Elektrode erlitt. Auf dieſe Weiſe wurde verfahren mit

Kupferchlorid . . $CuCl$
Eiſenchlorid . . . Fe_2Cl_3
Zinnchlorid . . . $SnCl_2$
Antimonhyperchlorid Sb_2Cl_5.

Das in der Vorausſetzung einer Aequivalenz mit dem Waſſer berechnete Chlor ſtimmt hier in allen Fällen mit dem beobachteten überein, obgleich nur eine dieſer Verbindungen, nämlich $CuCl$, zu gleichen Aequivalenten aus den Beſtandtheilen zuſammengeſetzt iſt.

Jod- und Brommetalle führten zu demſelben Reſultat.

Auch mit Oxyden ſtellte Becquerel Verſuche an. Er löſte Kupferoxydul Cu_2O und Kupferoxyd CuO, jedes für ſich, in Ammoniakflüſſigkeit und verſchloß die Flaſche luftdicht mittelſt eines Korkes, welcher die Dräthe der Elektroden hindurch ließ. Zugleich mit einer dieſer Löſungen war in den Kreis der Kette, die nur aus einem conſtanten Zinkkupfer-Element beſtand, eine Löſung von ſalpeterſaurem Kupferoxyd eingeſchaltet, die als Voltameter diente. Dieſe Verſuche, deren jeder mehrere Stunden dauerte, gaben das Reſultat, daß auf 1 Aeq. Kupfer, welches ſich an der negativen Polplatte des mit ſalpeterſaurem Kupferoxyd gefüllten Voltameters ausſchied,

2 Aeq. Kupfer aus der Löſung von Cu_2O
1 » » » » » CuO

niedergeſchlagen wurde.

Die letzte binäre Verbindung, welche Becquerel unterſuchte, war das oxydirte Waſſer HO_2. Auf jedes Aequivalent Waſſer, welches in dem gleichzeitig in den Strom eingeſchalteten Voltameter zerſetzt wurde, wurden 2 Aeq. Sauerſtoff aus dem oxydirten Waſſer am poſitiven Pole frei.

Die Unterſuchung der Elektrolyſe verſchiedener Salzlöſungen führte im Weſentlichen zu ähnlichen Reſultaten, wie wir ſie ſchon aus den Arbeiten von Daniell kennen lernten.

Der von Faraday aufgeſtellte Satz, daß binäre Verbindungen nur dann Elektrolyte ſind, wenn ſie aus gleichen Aequivalenten beider Beſtandtheile zuſammengeſetzt ſind, hat ſich demnach als unhaltbar erwieſen, indem viele Körper direct durch den Strom zerlegbar ſind, welche dieſer Bedingung nicht entſprechen.

In Beziehung auf die Quantität der Zerſetzung kann man das Reſultat der Becquerel'ſchen Unterſuchung am beſten ſo ausdrücken, wie es Poggendorff in einer Anmerkung zum Becquerel'ſchen Aufſatz formulirt hat: daß bei Gleichheit der Stromſtärke für jedes Aequivalent Waſſer auch ein Aequivalent irgend welcher Verbindung zerſetzt wird, ſobald dieſelbe überhaupt zerſetzbar iſt.

178 **Bildung von Chlorſtickſtoff durch Elektrolyſe.** Wenn man eine geſättigte Auflöſung von Salmiak zwiſchen Platinelektroden dem galvaniſchen Strom ausſetzt, ſo entwickelt ſich am negativen Pol Waſſerſtoffgas; am poſitiven Pol aber kein Chlor, und wenn die Löſung concentrirt genug iſt, auch kein Sauerſtoffgas; dagegen bedeckt ſich die poſitive Platinplatte mit kleinen gelblichen öligen Tropfen von Chlorſtickſtoff.

Gießt man auf die Löſung eine Schicht Terpentinöl, ſo explodiren die aufſteigenden Tröpfchen, ſobald ſie mit dem Terpentinöl in Berührung kommen, unter Knall und Lichterſcheinung. — Es iſt zweckmäßig, die poſitive Polplatte nicht vertical, ſondern geneigt in die Flüſſigkeit zu ſtellen.

Dieſe intereſſante Erſcheinung iſt, ohne daß einer vom andern etwas wußte, faſt gleichzeitig von Kolbe, welcher ſich damals in England aufhielt, und von Böttger in Frankfurt entdeckt worden. Kolbe beſchreibt die Bildung von Chlorſtickſtoff durch die Elektrolyſe einer geſättigten Salmiaklöſung im Philos. Magaz. XXX, Seite 336. Böttger, welcher meines Wiſſens darüber nichts publicirt hat, zeigte den Verſuch im Gießener Laboratorium.

Die Bildung des Chlorſtickſtoffs iſt offenbar eine ſecundäre Wirkung. Betrachten wir den Salmiak als Chlorammonium H_4NCl, ſo wird dieſer Körper ſo zerlegt, daß Cl an den poſitiven, H_4N an den negativen Pol tritt. Aus H_4N entwickelt ſich 1 Aeq. Waſſerſtoff, welcher gasförmig entweicht unter Zurücklaſſung von H_3N, während das am poſitiven Pol nascirende Chlor das Chlorammonium unter Bildung von Chlorſtickſtoff und Salzſäure zerſetzt. Wenn nämlich zu Chlorammonium H_4NCl 6 Aeq. Chlor, alſo 6 Cl hinzutreten, ſo bildet ſich 4 HCl (4 Aeq. Salzſäure) und Chlorſtickſtoff, NCl_3.

179 **Oxydationswirkungen des am poſitiven Pol der Kette ausgeſchiedenen Sauerſtoffs.** Der Sauerſtoff, welcher durch den galvaniſchen Strom an der poſitiven Polplatte ausgeſchieden wird, hat im Augenblicke ſeiner Entſtehung ſehr ſtark oxydirende Eigenſchaften, ſo daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerſtoff ſonſt nicht direct eingeht. Kolbe hat über dieſen Gegenſtand intereſſante und wichtige Verſuche angeſtellt.

Eine geſättigte wäſſerige Löſung von Chlorkalium wird durch den Strom einer aus 4 Bunſen'ſchen Bechern gebildeten Säule zwiſchen Platinelektroden in der Weiſe zerſetzt, daß ſich zuerſt Chlorgas am poſitiven, Waſſerſtoff am negativen Pol ausſcheidet und freies Kali gebildet wird, wovon die Flüſſigkeit eine alkaliſche Reaction annimmt. In dem Maaße, als bei fortſchreitender Zerſetzung die Flüſſigkeit an Chlorkalium ärmer wird, erſtreckt ſich die Elektrolyſe zugleich auch auf das Waſſer, indem am poſitiven Pol neben dem Chlor gleichzeitig Sauerſtoff frei wird, welcher zum Theil gasförmig entweicht, zum Theil ſich chemiſch mit dem Chlor erſt zu unterchloriger Säure (ClO), zuletzt zu Chlorſäure (ClO_5) verbindet, die in der alkaliſchen Löſung ſich an Kali gebunden finden.

Die Bildung des chlorſauren Kali's kann unter dieſen Umſtänden allerdings als das Reſultat der Einwirkung des Chlors auf das freie Kali betrachtet werden.

Der nämliche Zerſetzungsproceß findet aber auch ſtatt, wenn man der Löſung des Chlorkaliums ſelbſt noch mehr Schwefelſäure zuſetzt, als dem Aequivalent des Kaliums entſpricht, ſo daß kein freies Alkali auftreten kann, mit dem einzigen Unterſchiede, daß ſich dabei **überchlorſaures Kali** ($KO . ClO_7$) bildet, welches beim Erkalten aus der ſich erhitzenden Flüſſigkeit gewöhnlich herauskryſtalliſirt.

Endlich liefert auch reine Salzſäure, beſonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelſäure zugeſetzt ſind, ein Gemenge von freier Chlorſäure und Ueberchlorſäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pol und Waſſerſtoff am — Pol in Maſſe entweichen. Hieraus geht hervor, daß ſich Chlor und Sauerſtoff im status nascens auch ohne Gegenwart von freiem Alkali direct mit einander vereinigen, während man bisher gewohnt war, die ſogenannte prädisponirende Verwandtſchaft als weſentliche Bedingung zu ihrer Bildung (beim Durchleiten von Chlor durch Kalilauge) anzuſehen.

Cyankaliumlöſung wird unter den obigen Verhältniſſen leicht oxydirt und liefert cyanſaures Kali ($KO . CyO$). Eine der Chlorſäure oder Ueberchlorſäure entſprechende höhere Oxydationsſtufe des Cyans konnte Kolbe bei fortgeſetzter Elektrolyſe des cyanſauren Kali's nicht erhalten. Ebenſo wenig lieferte eine Löſung von Fluorkalium eine Sauerſtoffverbindung des Fluors.

Mittelſt des Stromes iſt es Kolbe auch gelungen, aus der Chlorkohlenunterſchwefelſäure, $HO + C_2Cl_3S_2O_5$ (Liebig's Annalen, Bd. 54, S. 157; Philos. Magaz. XXX. 334.) Oxydationsproducte zu erhalten, während dieſe Säure ſonſt den kräftigſten Oxydationsmitteln widerſteht,

indem ſie mit Chromſäure, Salpeterſäure u. ſ. w. gekocht, keine Veränderung erleidet.

Wenn eine concentrirte Auflöſung von chlorkohlenunterſchwefelſaurem Kali zwiſchen Platinelektroden dem Strom einer Bunſen'ſchen Säule von 4 Bechern ausgeſetzt wird, ſo beobachtet man anfangs am negativen Pole keine Entwickelung von Waſſerſtoffgas, während Chlor, Kohlenſäure und ſpäter auch Sauerſtoff am poſitiven Pole aufſteigen.

Sobald die Zerſetzung beginnt, wird eine ſaure Reaction in der Flüſſigkeit bemerklich, welche von der Bildung freier Salzſäure und Schwefelſäure herrührt. In einer ſpäteren Periode, wenn dieſe Säuren an Menge zugenommen haben, erſcheint Waſſerſtoff am negativen Pole, während endlich, nachdem alle Salzſäure zerſetzt iſt und die Chlorentwickelung aufgehört hat, überchlorſaures Kali in kleinen octaedriſchen Kryſtallen ſich aus der Flüſſigkeit ausſcheidet, welche noch freie Schwefelſäure und doppeltſchwefelſaures Kali enthält.

Dieſe Reſultate erklären ſich nun folgendermaßen. Der Sauerſtoff, welcher in Folge der Waſſerzerſetzung am poſitiven Pole frei wird, tritt an die Säure und bewirkt, daß ſie in verſchiedene Verbindungen zerfällt. Die Oxydation der Säure iſt vollendet, wenn ſie 12 Aequivalente Sauerſtoff aufgenommen hat, in dieſem Falle aber erklärt ſich ihr Zerfallen in folgender Weiſe:

$$\left.\begin{array}{r} KO + C_2Cl_3S_2O_5 \\ 12\,O \end{array}\right\} \left\{\begin{array}{l} KO + ClO_7 \\ 2\,SO_3 \\ 2\,CO_2 \\ 2\,Cl. \end{array}\right.$$

Es bildet ſich alſo überchlorſaures Kali, Schwefelſäure, Kohlenſäure und freies Chlor. Die Bildung der Ueberchlorſäure findet jedoch nicht gleich zu Anfang der Elektrolyſe ſtatt, indem Anfangs nur Chlorſäure entſteht. Dampft man bei einem früheren Stadium der Zerſetzung, bevor noch die octaedriſchen Kryſtalle des überchlorſauren Kalis auszukryſtalliſiren anfangen, die Flüſſigkeit ein, ſo erhält man die wohlbekannten rhombiſchen Tafeln des chlorſauren Kalis.

Während der am poſitiven Pol entwickelte Sauerſtoff dieſe Oxydationswirkungen hervorbringt, entweicht aber auch am negativen Pol kein Gas, indem der hier auftretende Waſſerſtoff ebenfalls mehrere Verbindungen eingeht. Ein Theil dieſes Waſſerſtoffs ſubſtituirt nämlich 1 oder 2 Aequivalente Chlor und bildet die Säuren $HO + \left(C_2\left\{\begin{array}{l}H\\Cl_2\end{array}\right.\right)S_2O_5$, Chlorformylunterſchwefelſäure, und $HO + \left(C_2\left\{\begin{array}{l}H_2\\Cl\end{array}\right.\right)S_2O_5$, Chlorelaylunterſchwefelſäure, zwei Säuren, welche Kolbe gleichfalls im 54. Bande von Liebig's Annalen näher beſpricht; ein anderer Theil des Waſſerſtoffs verbindet ſich mit dem ausgeſchiedenen Chlor zu Salz-

ſäure. Dieſe Säuren werden aber am poſitiven Pole gleichfalls oxydirt, und ſo geht dieſer Oxydationsproceß fort, bis alles Chlor der Flüſſigkeit theils in Ueberchlorſäure verwandelt theils entwichen iſt.

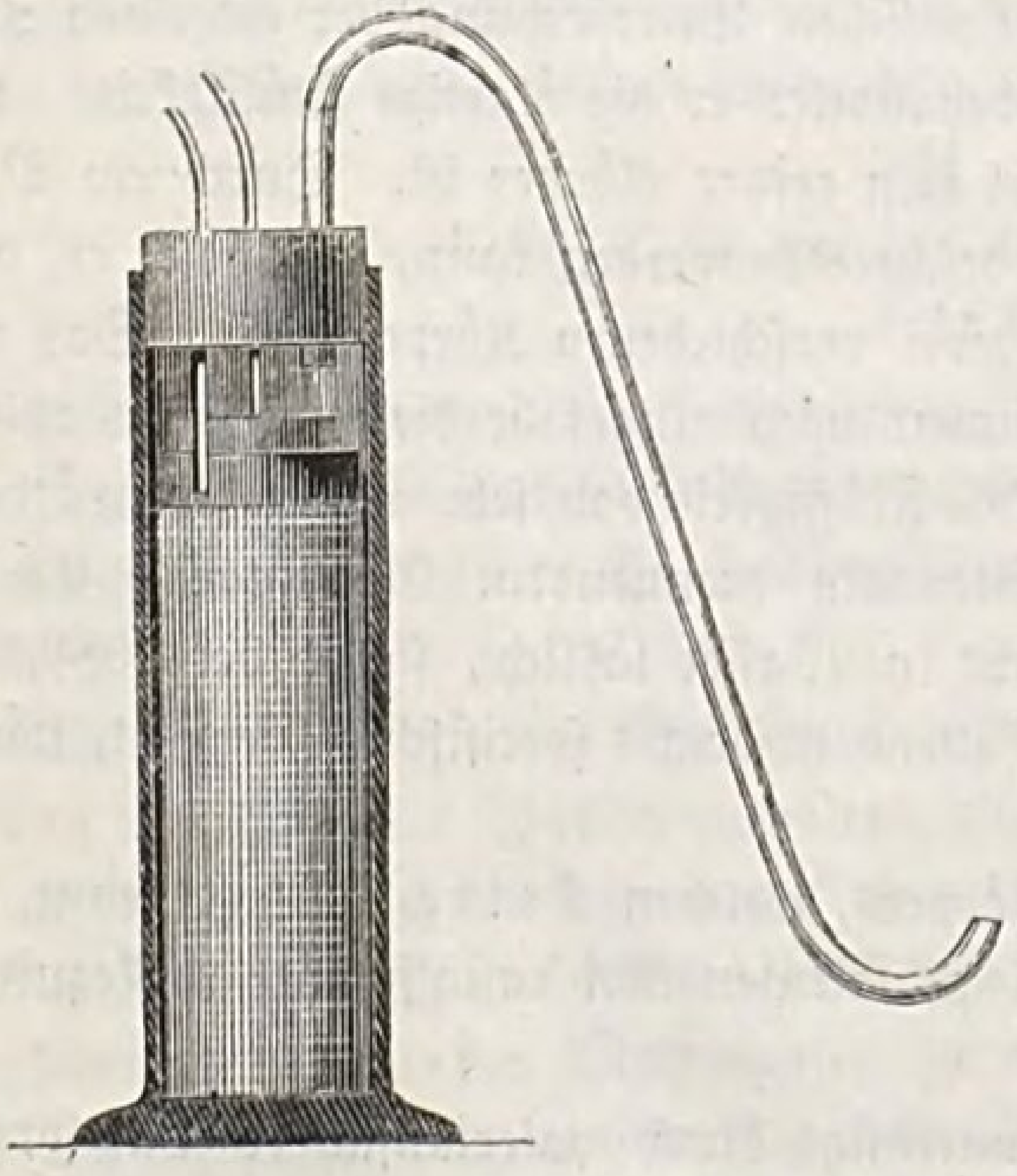
Die eben beſprochenen Zerſetzungserſcheinungen laſſen ſich nun durch die Annahme erklären, daß die Waſſerzerſetzung die primäre, die Oxydation der Säure die ſecundäre Wirkung ſey. Die Daniell'ſche Theorie über die Elektrolyſe der Salzlöſungen iſt hier durchaus unanwendbar. Nach dieſer Theorie müßte man das Salz betrachten als $K + (C_2Cl_3)\ S_2O_6$; die am poſitiven Pole ausgeſchiedene ſaure Verbindung müßte zerfallen in 2 Aequivalente Schwefelſäure und in das unlösliche Kohlenſesquichlorid C_2Cl_3. — Die Oxydation des Chlors erfordert durchaus die Annahme einer primären Waſſerzerſetzung.

Elektrolyſe der Valerianſäure und der Eſſigſäure. Kolbe hat 180
dadurch, daß er organiſche Subſtanzen der Elektrolyſe unterwarf und den Gang der Zerſetzungen genau verfolgte, einen Weg betreten, welcher für die Wiſſenſchaft von großer Bedeutung zu werden verſpricht. Wir wollen hier die Unterſuchungen Kolbe's ſo weit verfolgen, als es zur Erkenntniß der elektrolytiſchen Seite der Erſcheinungen nöthig iſt, ohne jedoch auf die Discuſſionen über die Conſtitution der unterſuchten organiſchen Subſtanzen uns einzulaſſen.

Die ausführliche Abhandlung, in welcher Kolbe die Elektrolyſe organiſcher Verbindungen behandelt, findet ſich in den Annalen der Chemie und Pharmacie, Band LXIX. Seite 257.

Da die freie Valerianſäure den galvaniſchen Strom ſchlecht leitet, ſo bediente ſich Kolbe zur elektrolytiſchen Zerſetzung derſelben einer concentrirten wäſſerigen Löſung ihres Kaliſalzes. Der Zerſetzungsapparat war ungefähr ſo eingerichtet, wie der Fig. 158 abgebildete. Der Glascylinder war ungefähr 11 Zoll hoch und 2½ Zoll weit. Der äußere Metallcylinder iſt von Kupfer-, der innere von Platinblech. Der Kupfercylinder wurde mit dem negativen, der Platincylinder mit dem poſitiven Pol einer aus 4 Bunſen'ſchen Bechern beſtehenden Säule verbunden.

Fig. 158.



Wenn dieſer Apparat mit einer Löſung von valerianſaurem Kali, $KO + (C_8H_9)C_2O_3$, gefüllt iſt und der Strom in der angedeuteten Weiſe durch die Flüſſigkeit hindurchgeht, ſo findet an beiden Polen eine lebhafte Gasentwickelung ſtatt, und gleichzeitig ſcheiden ſich auf der Oberfläche der Flüſſigkeit leichte, in der Regel ſchwach gelblich gefärbte, ölartige Tropfen von angenehmem ätheriſchen Geruche ab. Die entweichenden ſtark riechenden Gaſe enthalten, nachdem alle atmoſphäriſche Luft aus dem Apparate verdrängt iſt, keine Spur von Sauerſtoff. Das Gasgemiſch beſteht aus Waſſerſtoff, Kohlenſäure und einem dritten Gaſe, welches mit ſtark leuchtender Flamme brennt und dem Gemiſch den eigenthümlichen Geruch verleiht.

Nach Stunden lang fortgeſetzter Einwirkung des Stromes iſt die auf der Flüſſigkeit ſich anſammelnde Oelſchicht bis zu einer Höhe von mehreren Linien angewachſen und das valerianſaure Kali zum größten Theil in ein Gemenge von einfach- und zweifachkohlenſaurem Kali verwandelt, welches letztere gewöhnlich am Ende der Zerſetzung theilweiſe herauskryſtalliſirt. Um zu erfahren, an welchem Pole jedes dieſer Producte auftritt, brachte Kolbe die Platinplatte in eine poröſe Thonzelle, die oben luftdicht geſchloſſen und mit einem Gasentbindungsrohre verſehen war. Dieſe Zelle, mit valerianſaurem Kali gefüllt, wurde in ein gleichfalls eine Löſung dieſes Salzes enthaltendes Glasgefäß geſetzt, in welchem ſich der als negativer Pol dienende Kupfercylinder befand. Es ergab ſich auf dieſe Weiſe, daß von den genannten Zerſetzungsproducten außer freiem Kali nur Waſſerſtoff auftrat, während alle übrigen Producte, das ätheriſche Oel, die Kohlenſäure und die riechende Gasart neben freier Säure (die Anordnung des Apparates verhinderte die Bildung von kohlenſaurem Kali) am poſitiven Pole erſchienen.

Kolbe ging nun zu einer gründlichen Unterſuchung der einzelnen Zerſetzungsproducte über. Zuerſt behandelte er die ölartige Flüſſigkeit. Es zeigte ſich bald, daß das rohe Oel kein reiner Körper iſt. Durch ein Verfahren, welches hier nicht näher beſchrieben werden kann, ermittelte er, daß das rohe Oel ein Gemiſch aus zwei verſchiedenen Körpern iſt. Das gereinigte Oel, welches dem Volumen nach ungefähr die Hälfte des rohen ausmacht, bildet eine klare, farbloſe Flüſſigkeit von ſehr angenehmem ätherartigen Geruch, und fadem hintennach brennendem Geſchmack. Es iſt in Alkohol und Aether, aber nicht in Waſſer löslich, ſiedet bei 108°, iſt ſehr entzündlich und hat ein auffallend niedriges ſpecifiſches Gewicht, nämlich 0,694.

Die chemiſche Formel dieſes Körpers, welchen Kolbe Valyl nennt, iſt C_8H_9, d. h. er beſteht aus 8 Aequivalenten Kohlenſtoff und 9 Aequivalenten Waſſerſtoff.

Das rohe Oel iſt Valyl, verunreinigt durch valerianſaures Valyloxyd, alſo Valyl gemiſcht mit $C_8H_9O + (C_8H_9)C_2O_3$.

Das riechende Gas, welches mit der Kohlenſäure entweicht, iſt ebenfalls ein Kohlenwaſſerſtoff und zwar C_8H_8, alſo gleich zuſammengeſetzt mit dem ölbildenden Gas, mit dem es in ſeinem Verhalten gegen Chlor viele Aehnlichkeit hat, aber von doppelt ſo großem ſpecifiſchen Gewichte.

Der ganze Hergang dieſer Zerſetzungen läßt ſich nun leicht überſehen. Durch den in Folge der Elektrolyſe am poſitiven Pole entwickelten Sauerſtoff wird die Valerianſäure $(C_8H_9)C_2O_3$ oxydirt und zerfällt in Valyl C_8H_9 und Kohlenſäure C_2O_4, oder vielmehr allein das Valyl ſelbſt unterliegt wieder einer theilweiſen Oxydation, es bildet ſich Valyloxyd C_8H_9O, welches mit Valerianſäure ſich verbindet und, mit dem übrigen bleibenden Valyl gemiſcht, das rohe Oel bildet. Außerdem macht ſich noch ein ſecundärer Oxydationsproceß des Valyls dadurch geltend, daß der naſcirende Sauerſtoff ihm 1 Aequivalent Waſſerſtoff entzieht, um mit demſelben Waſſer zu bilden, wodurch denn der dem ölbildenden Gaſe homologe Körper C_8H_8 entſteht, welcher mit der Kohlenſäure am $+$Pol entweicht.

Ganz analoge Zerſetzungen erleidet die Eſſigſäure durch den Einfluß des galvaniſchen Stromes. Da die Eſſigſäure zu ſchlecht leitet, ſo unterwarf Kolbe gleichfalls das Kaliſalz derſelben der Unterſuchung. Die Eſſigſäure $(C_2H_3)C_2O_3$ erleidet ganz in der Art, wie wir es bei der Valerianſäure geſehen haben, am $+$Pol eine Oxydation, in Folge deren ſie in Methyl, C_2H_3, und Kohlenſäure, C_2O_4, oder vielmehr $2CO_2$ zerfällt, welche Körper beide am $+$Pol gasförmig entweichen, während das Waſſerſtoffäquivalent, welches dem am poſitiven Pol oxydirenden Sauerſtoff entſpricht, am $-$Pol aufſteigt. Denken wir uns die reine Eſſigſäure mit 1 Aequivalent Waſſer verbunden, ſo erklärt ſich der Hergang durch die Elektrolyſe des Waſſeräquivalentes und die daraus erfolgende Oxydation der Säure ganz einfach durch folgende Gleichung:

$$HO + (C_2H_3)C_2O_3 = \begin{cases} H \ldots.\ 2\ \text{Volum} \\ C_2H_3\ 2\ \text{Volum} \\ 2CO_2\ 4\ \text{Volum.} \end{cases}$$

Die Unterſuchung der aufgefangenen Gaſe zeigt aber, daß im Vergleich zu dem Methylgas mehr Waſſerſtoff und mehr Kohlenſäure in dem Gasgemenge enthalten iſt. Dieſe Abweichung läßt ſich aber auch leicht erklären.

So wie es die obige Gleichung andeutet, würde der Vorgang ſeyn, wenn nur das eine Waſſeräquivalent elektrolyſirt würde; allein die Elektrolyſe erſtreckt ſich auch noch auf einen andern Theil des Waſſers der Löſung, dadurch wird einerſeits die Menge des Waſſerſtoffs vermehrt, andererſeits ein Theil des Methylgaſes zu Kohlenſäure und Waſſer oxydirt, ſo daß alſo auch verhältnißmäßig mehr Kohle gebildet wird. Auch enthält das Methylgas ſtets eine geringe Beimengung von Methyloxyd.

181 **Galvanoplaſtik.** Nachdem bereits im September 1836 de la Rive (Philosophical Magazine, Dingler, 105. Bd.) darauf aufmerkſam gemacht hatte, daß das in der Daniell'ſchen Kette niedergeſchlagene Kupfer von dem Kupfer der Kette ablösbar und ein mikroſkopiſch genauer Abdruck desſelben ſey, ſo kamen Jakobi und Spencer, wie es ſcheint, faſt gleichzeitig auf den Gedanken, dieſes praktiſch nutzbar zu machen, was denn auch bekanntlich den entſchiedenſten Erfolg hatte.

Jakobi ſetzte wirklich zuerſt 1839 eine Daniell'ſche Kette zuſammen, in welcher eine gravirte Kupferplatte angewendet wurde, machte jedoch ſogleich auch Verſuche in einer abgeſonderten Zerſetzungszelle, wo er als Anode der geſtochenen Kupferplatte eine andere gegenüber anbrachte, wodurch er die Kupfervitriollöſung ſtets geſättigt erhielt *). Er fand auch ſogleich, daß etwas angeſäuerte Kupfervitriollöſung wirkſamer ſey, und daß ſich das Kupfer pulverig ausſcheide, wenn der Strom zu ſtark werde; er bemerkte, es dürfe im Allgemeinen nicht über 50 — 60 Gran Kupfer pro Quadratzoll in 24 Stunden reducirt werden, wenn es compact werden ſoll. Zur beſſern Beurtheilung der Stromſtärke ſchaltete er eine ganz einfache Buſſole ein. Jakobi gab bald darauf eine eigene Schrift hierüber heraus unter dem Titel: »die Galvanoplaſtik«, Petersburg 1840. Spencer's Verſuche (Dingler's Journal, 75. Bd. 1840, und Mechanics Magazine Nr. 846) gehen nach ſeiner Angabe bis in das Jahr 1837 zurück; er wendete keine abgeſonderte Zerſetzungszelle an, ſondern eine Daniell'ſche Kette wie Jakobi, und zwar mit einer Scheidewand von Gyps, ſtatt deſſen man auch unglaſirten Thon nimmt, Kochſalz beim Zink. Die Scheidewand ging vertical durch einen Trog von entſprechenden Dimenſionen und bildete ſo die zwei Zellen. Daß das Zink nicht amalgamirt ſeyn dürfe und ſeine Dicke mit der Dicke der verlangten Kupferſchichte in einem gewiſſen — aber nicht angegebenen — Verhältniſſe ſtehen müſſe, wie Spencer anfänglich angab, hat ſich ſpäter auf keine Weiſe beſtätigt. Spencer wollte anfänglich auf eine dickgefirnißte Platte radiren, die radirten Züge galvanoplaſtiſch ausfüllen, in der Hoffnung, ſie würden feſt auf der Unterlage von Kupfer haften und dann zum Abdruck wie Holzſtiche verwendet werden können; er erreichte jedoch hierin keinerlei Reſultate von praktiſchem Erfolge. Anfänglich hielt das niedergeſchlagene Kupfer nicht auf der Platte, bis er dieſe mit Salpeterſäure anätzte. Uebrigens hatte er die Sache ſogleich bei der erſten Publication bereits nach allen Richtungen verfolgt. So formte er geſtochene Kupferplatten galvaniſch ab oder preßte ſie in Blei ab, um ſie als Modell für weitere galvanoplaſtiſche

*) Die in §. 176 angeführte Erſcheinung, daß das Kupfer nicht zum negativen Pol wandert, wirkt hier nicht ſtörend, da die Platten immer nur geringe Entfernung haben und die Anode ſich gewöhnlich über der Kathode befindet.

Abzüge zu benutzen, wobei er die geſtochene Platte warm mit Wachs überzog und dieſes wieder ſorgfältig abwiſchte, um das Zuſammenwachſen zu verhüten; ebenſo machte er Formen aus Gyps und Thon, die er zuerſt mit Leinölfirniß, und nach deſſen Abtrocknen mit Maſtixfirniß überzog und zuletzt mit Broncepulver überpuderte oder mit Blattgold auslegte; ſolche Formen wurden durch einen mit Firniß oder Siegellack überzogenen Kupferdraht mit der Zinkplatte verbunden.

Die urſprüngliche Idee Spencer's, erhabene Typen zum Drucke zu erhalten, änderte ſpäter (Patent vom Jahre 1841 [Dingler's Journal, 95. Bd.]) von Kobell in München dahin ab, daß er eine Kupferplatte dick mit Kupferſtecherfirniß überzog, dieſen mit Graphitpulver (fein gemahlen und geſchlämmt) leitend machte und dann hineinradiren ließ bis auf die Kupferplatte; größere helle Stellen wurden dann noch beſonders mittelſt eines Pinſels mit Wachs überzogen und wieder leitend gemacht. Die ganze Platte wurde ſodann galvanoplaſtiſch mit Kupfer überlegt. Um die Trennung zu erleichtern, hatte von Kobell ſchon früher bei geſtochenen Platten dieſelben durch Eintauchen in eine Löſung von Chlorſilber und Kochſalz ſchwach verſilbert. Indeſſen findet ſich im 95. Bande von Dingler die gleiche Methode unter dem Namen Glyphographie von Palmer beſchrieben.

Später wurde nach Jakobi's Angabe bei galvanoplaſtiſchen Arbeiten, wo keine beſondere Zerſetzungszelle angewendet wurde, dem Apparat die Einrichtung gegeben, daß man das Zink auf einige untergelegte Stückchen Holz oder Glas horizontal in ein hölzernes oder gläſernes Gefäß legte, deſſen Boden bei kleineren durch eine Schweinsblaſe, bei größeren durch irgend eine andere ſtärkere thieriſche Membran, ſelbſt durch lohgares Kalbleder gebildet iſt. Dieſes Gefäß wird in ein zweites größeres geſetzt und durch paſſende Unterſtützung ſo getragen, daß es von deſſen Boden einen Abſtand von 1 — 4 Zollen erhält; in das größere Gefäß legt man nun eine Kupferplatte, auf welche die zu überziehende Kupferplatte gelegt wird, nachdem ſie vorher mit Fett ſorgfältig eingerieben und wieder abgewiſcht, oder vorher leicht verſilbert wurde. Der Rand der untern Platte wird mit Wachs überzogen, ſo weit er nicht von der als Form dienenden Platte bedeckt iſt. An die untere Platte werden je nach ihrer Größe ein oder mehrere Kupferdrähte gelöthet, welche mit Wachs überzogen ſind und außerhalb in Queckſilbernäpfe tauchen, in welche auch eben ſo viele an das Zink gelöthete Drähte reichen. Der Apparat kann auf dieſe Art des Nachſehens wegen leicht auseinander genommen werden. Zum Zink kommt, wie in jeder Daniell'ſchen Kette, ſehr verdünnte Schwefelſäure und zu der Form Kupfervitriollöſung, die man dadurch geſättigt erhält, daß man gepulverte Kryſtalle in einem Säckchen hineinhängt. Formen von Gyps

und Thon erhalten eingeſteckte Drähte, bis zu welchen hin dieſelben ebenfalls leitend gemacht werden, doch überdeckt man dieſe Stellen ſpäter wieder mit Wachs, damit ſich hier kein Kupfer ablagere und die ſpätere Trennung erſchwere.

Die Trennung der Kupferplatten geſchieht ſo, daß man beide in den Schraubſtock nimmt und ringsum befeilt, wo man dann da und dort eine Spalte bemerkt, in die man einen Hornſpattel oder ein ähnliches Werkzeug einführen kann, um die Trennung zu bewirken, wozu manchmal auch eine mäßige Erwärmung beiträgt. Die zuerſt erhaltene Platte dient wieder als Form, die Trennung von dieſer iſt aber keiner Schwierigkeit unterworfen.

Man benutzt manchmal einen ähnlichen Apparat, wie der vorhin beſchriebene, um auf die untere Kupferplatte mehrere kleinere Gegenſtände zugleich ſtellen zu können. Wenn der Proceß mehrere Tage dauert, ſo muß man täglich den Apparat auseinandernehmen, an dem niedergeſchlagenen Kupfer die Warzen mit der Feile entfernen, das geſäuerte Waſſer beim Zink erneuern, und ebenſo die Kupfervitriollöſung und das Zink ſelbſt von dem darauf abgeſetzten Schlamme reinigen.

Indeſſen zeigten ſich bei der galvanoplaſtiſchen Nachbildung von Kupferplatten doch auch manche Uebelſtände; ſo machte Gerlach (Dingler's Journal, 82. Bd., und Journal für praktiſche Chemie, Sept. 1841) namentlich nebſt Anderm auch darauf aufmerkſam, daß die galvaniſchen Kupferplatten ſpröde ſeyen, daß ſie zwar dieſe Eigenſchaft durch Erhitzen verlieren, bei letzterem aber dann um $\frac{1}{22}$ linear größer würden, was bei ungleicher Ausdehnung ſogar Verzerrungen herbeiführen könne. Gerlach meint nach einigen Verſuchen, man könnte vielleicht die Sprödigkeit wegnehmen, ohne die Ausdehnung in gleichem Grade zu erhalten, wenn man die Platten nur bis zur Hitze des ſchmelzenden Zinnes etwa erwärmen würde, ohne aber Genaueres darüber anzugeben. Dann fand man ferner, daß doch mitunter die Kopie mit dem Original zuſammenwachſe, oder ſich in unterhöhlten Linien einhake, und Elsner findet es darum bedenklich (Dingler's Journal, 80. Bd., und Journal für prakt. Chemie, 1841, Bd. 22.), eine koſtbare Platte dieſem Verfahren zu unterwerfen. Die Contractionen, die bei Erzeugung der Form — namentlich aus Gyps — ſtattfinden, ſo wie die Möglichkeit des Verbiegens beim Ablöſen und nachherigen Bearbeiten der Rückſeite, machen nebſt andern bereits angeführten Gründen die Anwendung der Galvanoplaſtik auf Copirung von Maaßſtäben und andern Meßwerkzeugen unanwendbar. Ferner halten, nach de la Rive (Dingler's Journal, 99. Bd.), ſolche Platten überhaupt wenige Abdrücke aus und es ſollen namentlich die Linien galvaniſch copirter Holzſchnitte innen häufig hohl ſeyn, weil in den Vertiefungen ſich die Kupfervitriollöſung nicht gehörig erneuere und daher wegen Erſchöpfung die Ab-

lagerung unterbleibe, bis die Linie zuletzt von der Seite überwachſe, auch ſollen ſie ſich nicht mit Zinnober abdrucken laſſen, da ſich Queckſilber ausſcheide, was bei geſtochenen Platten nicht der Fall ſey. Vogel aus Frankfurt prägte daher (Dingler's Journal, 110. Bd.) die Platten — namentlich aber Stahlplatten — in Wachs ab, das vorher mit Graphit bepudert wurde, was nach dem Prägen nochmals geſchah, worauf der loſe Graphit durch einen Blaſebalg entfernt wurde.

Eine eigenthümliche Idee verfolgte bei geätzten Kupferplatten Vogel, indem er die geätzte Platte — geſtochene mußten vorher ſchwach mit Salpeterſäure behandelt werden — nach Entfernung des Aetzgrundes ganz überwachſen läßt, dann wieder bis auf die Ebene der urſprünglichen Platte wegſchleift, um die ausgefüllte Zeichnung nun in Form eingelegter Arbeit zu erhalten (Dingler's Journal, 106. Bd.). Wie weit dieſe Idee praktiſchen Erfolg hatte — etwa wenn Silber niedergeſchlagen wurde, z. B. auf Eiſen — iſt mir nicht bekannt. Knoblauch ſchlug vor (Dingler's Journal, 105. Bd.) auf einer reingearbeiteten Kupferplatte, Platten für Kupferſtecher galvaniſch zu erzeugen; da dieſe keine unganzen Stellen enthalten, auch ſogleich eben und polirt ſeyn würden. Sollen Stereotypplatten galvanoplaſtiſch erzeugt werden, ſo kann dieſes unmittelbar dadurch geſchehen, daß man eine zwei bis drei Linien hohe Wachsſchicht mit dünngewalztem Blei belegt und einen Abdruck macht, auf welchem man dann die Kupferplatte erzeugt; ſolche Platten, ſo wie galvanoplaſtiſche Abzüge von Holzſtichen werden immer nur dünn genommen, dann auf der Rückſeite unter Beihülfe von ſalzſaurem Zink verzinnt und mit Schriftmetall begoſſen. Bei Holzſtichen wird entweder zuerſt eine Form auf galvanoplaſtiſchem Wege, indem man das Holz durch Graphit leitend macht, oder durch Prägung erzeugt; ſoll aber Holz in eine Flüſſigkeit kommen, ſo müſſen die nicht zu überziehenden Theile deſſelben aus doppeltem Grunde gut geſchützt werden durch Ueberlegen mit Bleiplättchen und Ueberziehen der letztern mit Wachs.

Eine eigenthümliche Anwendung von der galvaniſchen Erzeugung der Kupferplatten machte von Kobell (den 4. Mai 1840 der Akademie zu München vorgelegt) und gab ihr den Namen Galvanographie. Er malte nämlich in Tuſchmanier mittelſt einer Auflöſung von Damarharz in Terpentinöl, der Eiſenroth zugeſetzt wurde, auf eine polirte Kupferplatte und ließ ohne weiteres Leitendmachen dieſelbe galvanoplaſtiſch mit Kupfer überziehen. Die gewonnene Platte kann dann ſogleich zum Drucke verwendet werden, die Lichter werden am hellſten, wo kein Firniß aufgetragen wurde. Das Ueberwachſen der gefirnißten Stellen geſchieht zum Theile von Punkten aus, die ſich auf denſelben bilden, wo ſtellenweiſe das Kupfer der Unterlage durch den Firniß hindurch wirkt, zum Theile aber auch von den

ungedeckten Stellen aus. Da die Platten jedoch nicht viele Abdrücke aushalten ſollen, ſo kann man dieſelben zuerſt galvanoplaſtiſch vervielfältigen. Von Kobell hat ſein Verfahren in einer beſondern Schrift auseinandergeſetzt (München, Cotta).

Für galvanoplaſtiſche Nachbildungen anderer Art, als der Kupferplatten, muß gewöhnlich erſt eine Form beſchafft werden. Man erhält dieſelbe entweder durch Abklatſchen in einem leichtflüſſigen Metall oder durch Abpreſſen in weichen Bleiplatten, oder durch Abgießen in Gyps und Wachs, in Gyps allein, oder auch in Wachs allein, oder in Wachs mit gleichen Theilen Colophonium.

Was nun die metalliſchen Formen betrifft, dürfen dieſelben nicht aus Metallen beſtehen, welche für ſich von der Kupfervitriollöſung angegriffen werden, wie Eiſen, Zinn, Zink; ſolche müßten vorher galvaniſch gut verſilbert werden. Böttger hat im Frankfurter Gewerbefreund von 1840 (Dingler's Journal, 78. Bd.) ein Gemiſch aus 8 Wismuth, 8 Blei, 3 Zinn (Schmelzpunkt 86° R.) empfohlen, und empfiehlt metallene Model überall da, wo ſie anwendbar ſeyen. Er gießt das geſchmolzene Metall in eine Pappſchachtel, rührt es mit einem Eiſendrahte, bis es breiig wird und drückt dann den abzuformenden Gegenſtand bis zum Erkalten darauf. Auch Abdrücke in dünnes, durch Lauge von Fett gereinigtes Blei empfiehlt Böttger; ſie werden unter Beilage von feuchter Pappe in einer Preſſe — Schraubſtock — gemacht. Bei ſehr zerbrechlichen Gegenſtänden kann man Bleifolie — Stanniol iſt nicht anwendbar — mit Baumwolle aufreiben und vor dem Abheben mit einer Miſchung von Wachs und Harz übergießen, doch möchten in ſolchen Fällen Abgüſſe vorzuziehen ſeyn.

Bei dem Abgießen mit flüſſigem Wachs, worein man Gyps gerührt hat, oder mit Gyps allein, oder mit einer Miſchung aus Wachs und Colophonium hat man nur nöthig, den Gegenſtand mit einem Papierrande zu umgeben und die gut flüſſige, aber blaſenfreie Maſſe darauf zu gießen; die Ablöſung darf erſt nach vollſtändigem Erkalten verſucht werden und geht in der Regel leicht. Gypsformen müſſen aber nachher in geſchmolzenes Wachs getaucht werden, um ſie waſſerdicht zu machen. Auch in Guttapercha macht man Abdrücke, nachdem man ſie und den Gegenſtand in Waſſer langſam erwärmt und beide wieder abgetrocknet hat. Es geſchieht am beſten unter paſſenden Beilagen in einem Schraubſtocke. Um nun ſolche und hölzerne Formen leitend zu machen, nahm Spencer (Dingler's Journal, 77. Bd.), nachdem er andere Verfahren, wie Belegen mit Blattgold, Einſtäuben mit Graphit, theils zu theuer, theils ungenügend gefunden, $1/_{300}$ Phosphor und löſte denſelben in 1 Theil ſtarkem Alkohol im Waſſerbad auf, tauchte den Model einige Secunden lang in eine ſchwache Löſung von ſalpeterſaurem Silber und hielt ihn ſodann über

die Phosphorlöſung, während dieſelbe in einem Uhrglaſe im Sandbade verdunſtete. Statt des letzteren Verfahrens ſchlug Böttger vor, die mit ſalpeterſaurem Silber getränkten Formen in einen Raum zu bringen, in welchen man unentzündliches Phosphorwaſſerſtoffgas leite, welches erhalten wird, wenn man einige Stückchen Phosphor in einer Retorte mit Brennſpiritus übergieße, einige Stückchen Aetzkali zuſetze und erwärme. Jetzt pudert man gewöhnlich ſolche Formen mit feingeſchlämmtem Graphit, oder mit fein zertheiltem Silber — ächte Silberbronce — ein und reibt das Pulver mit einem feinen Pinſel auf.

Die Nachbildung runder Formen bietet der Galvanoplaſtik bedeutende Schwierigkeiten, ſie werden meiſt in einer abgeſonderten Zerſetzungszelle gemacht, und es muß dabei die Größe der Oberfläche des Elementes jener der zu überziehenden Fläche nahezu gleich oder größer ſeyn. Jakobi verſuchte es zuerſt ſo, daß er eine in Wachs modellirte halbrunde Büſte leitend machte, ſie ganz dünn galvaniſch überzog, das Wachs ausſchmolz, die Form mit Terpentinöl reinigte und nun auf der innern Seite eine dicke Ablagerung von Kupfer machte, worauf er es verſuchte, das äußere dünne Blatt (Dingler's Journal, 78. Bd.) herunter zu reißen, was aber nicht ganz ohne Beſchädigung abging. Einem Herrn Soyer in Paris (Dingler's Journal, 78. Bd.) gelang es auf dieſe Art, eine Büſte ziemlich fehlerfrei nachzubilden, worauf er ſogleich ſich erbot, den bekannten großen Elephanten galvanoplaſtiſch darzuſtellen, um den Betrag von 200000 Francs. Zu ſeinem Glücke wohl nahm ihn Niemand beim Worte. Auf ähnliche Weiſe ſuchte auch Herzog Max von Leuchtenberg runde Formen darzuſtellen (Dingler's Journal, 80. Bd.), in deſſen Anſtalt überhaupt Galvanoplaſtik auf das Großartigſte betrieben wird, da nur von dem ſchwarzen Pulver, welches ſich auf den kupfernen Anoden anſetzt und von Verunreinigungen des käuflichen Kupfers und der angewendeten Schwefelſäure herrührt, und von welchem die Annoden alle 12 Stunden gereinigt werden müſſen, in Zeit von — dem Zeitpunkte der Journalnachrichten nach zu urtheilen — höchſtens 2 Jahren 40 Pud geſammelt wurde. Auch in Stiglmeyer's Anſtalt war man nicht glücklich mit dem Verſuche, Statuen in größerem Maaßſtabe galvanoplaſtiſch darzuſtellen. Ein Herr Moyle will zwar (Dingler's Journal, 80. Bd. aus Sturgeon's Annals of Electricity) über Formen von Wachs, was er ſpäter ausſchmolz, runde Formen dargeſtellt haben, allein er will der ſchönſten getriebenen Arbeit ähnliche Gegenſtände, namentlich auch von Silber erhalten haben, was eben die Glaubhaftigkeit ſeiner Angaben ſehr herabſtimmt. Der Verein für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen ſetzte auf die Anfertigung einer größern Statue auf galvanoplaſtiſchem Wege einen Preis (Dingler's Journal, 108. Bd., aus den Verhand-

lungen des Vereins vom Jahre 1848), den Herr von Hackewitz erhielt. Er fertigte über das Modell eine zerlegbare Form aus 2 Wachs, 2 Terpentin, 1 Colophonium und 5 Graphit, es wurden zuerſt die unterſten Theile innen leitend gemacht und auf den Fugen, ſodann das Zink in einem Beutel aus thieriſchen Häuten (Därmen), mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt, hineingehängt, ohne daß ſie die Form berührten, und dann Kupfervitriol zugegoſſen und das Zink mit der leitenden Form verbunden. War der erſte dünne Ueberzug in zwei aufeinander gehörenden Theilen der Form gebildet, ſo wurden ſie zuſammengefügt und die Leitung vom Zink im Beutel an die leitend gemachte Fuge geführt, nun noch mehr Kupfer niedergeſchlagen und ſo die beiden ſchon vorhandenen dünnen Kupferüberzüge in ein Stück vereinigt. Auf gleiche Weiſe wurden ſucceſſive die Theile der ganzen Statue zuſammengeſetzt, mit Ausnahme der Arme, welche jeder für ſich auf gleiche Weiſe gebildet wurden. Da in die ganz engen Theile keine Beutel mit dem Zink eingeführt werden konnten, ſo wurde für den erſten Ueberzug derſelben eine abgeſonderte Batterie verwendet. Ein ſolches Verfahren kann man wohl einem Preiſe zu lieb unternehmen, allein es zeigt, daß man bis jetzt in dieſem Punkte noch durchaus zu keinen praktiſchen Reſultaten gelangt iſt. Auf eine ähnliche Weiſe, wie hier die Theile zuſammengefügt wurden, verfährt man auch, um kupferne Ringe galvaniſch zu löthen, indem man die Ringe mit Firniß überzieht, die Fuge aber metalliſch rein macht und nun Kupfer in die Fuge bis zum Ueberwachſen derſelben niederſchlägt.

Eine beſondere Anwendung der Galvanoplaſtik machten Mallet und Meillet, indem ſie Glas- und Porcellangefäße mit einem dünnen Kupferüberzuge an den dem Feuer ausgeſetzten Stellen überzogen. Mallet überzog die Gefäße mit Canadabalſam und Graphit, Meillet aber mit Gummi und ſalpeterſaurem Silber, welchen Anſtrich er aber in der Flamme trocknete; allein in der Glühhitze wird dieſe Zwiſchenlage zwiſchen dem galvaniſch darauf abgelagerten Kupfer und dem Gefäße zerſtört und dadurch der Ueberzug locker. M. Simſon ſchlug nun in der Zeitung für Handels- und Fabrik-Induſtrie von 1843 (Dingler's Journal, 89. und 91. Bd.) vor, die zu überziehenden Stellen durch Aetzen mit Flußſpathſäure rauh zu machen und dann mittelſt eines Korkſtöpſels mit Graphit einzureiben. Mohr ſah ſolche Gefäße auf der Pariſer Ausſtellung von 1844, berichtete darüber als ein neues Product in Dingler's Journal, 103. Bd., und verſuchte ſie nachzumachen; allein er wendete einen Copalfirniß an, den er mit Bronce überpuderte, und ſo hafteten ſeine Ueberzüge nur da, wo ſie, wie an Retorten und dergleichen, übergreifend ſeyn konnten, nicht aber an Abrauchſchalen. Elsner machte ſpäter wieder Verſuche hierüber (Dingler's Journal, 108. Bd.), nahm wieder

Firniß und Graphit und wendete auch das Aetzen an; wenn er die Stellen 24 Stunden lang mit einem Brei aus Flußſpath und Schwefelſäure bedeckt hatte, ſo wurden ſie nach dem Abwaſchen mit Graphit eingerieben und der galvanoplaſtiſche Kupferüberzug haftete ſelbſt an Abrauchſchalen vollkommen feſt, wie dieſes übrigens Simſon ſchon jahrelang vorher angegeben hatte, ohne daß es von Elsner erwähnt wird. Glasröhren hat man auf dieſe Weiſe — namentlich Mallet — zu vereinigen geſucht; ſie werden hiefür am Ende aufgeſtaucht und ebengeſchliffen, dann etwa auf $\frac{1}{2}$—1 Zoll vom Ende durch Firniß und Graphit leitend gemacht; allein ſowohl das Befeſtigen der Röhrenenden gegeneinander, als das Eintauchen der Röhren hat ſeine Schwierigkeiten; für letzteres muß das Gefäß Oeffnungen haben, die man nach dem Einführen der Röhre wieder mit Thon verſtopft, ehe man den Kupfervitriol zugießt.

Talbot und Steinheil haben ſich auch damit abgegeben, Metallſpiegel galvanoplaſtiſch nachzumachen, auch Wheatſtone hat ſich damit beſchäftigt. Talbot wollte die Kupferſpiegel dadurch weiß machen, daß er ſie dem Dampfe hydrothionſauren Ammoniaks ausſetzte, Steinheil aber vergoldete die Spiegel. Die urſprünglichen Metallſpiegel können ohne beſondere Vorbereitung als Form benutzt werden. Steinheil wendete beſondere Vorſicht an, um die erſte Ablagerung ſchön rein zu erhalten; er nahm ſie in einer beſondern Zerſetzungszelle vor, in der er ſich durch eine Probeplatte davon zuerſt überzeugt, ob alles in gehörigem Stande ſey, d. h. ob ſchnell ſich eine gleichförmige, roſenrothe Ablagerung bildet; nachher brachte er die Form in einen gewöhnlichen einfachen Apparat, wo er die Ablagerung wochenlang fortſetzte, bis der Spiegel zolldick war. Warzen u. dergl. nahm er täglich mit der Feile weg. Dieſes Verfahren ſcheint bis jetzt noch nicht zu praktiſchen Reſultaten geführt zu haben (Dingler's Journal, 99. Bd.).

Auch galvanoplaſtiſche Copieen von Daguerreotypbildern, nachdem dieſe vorher vergoldet ſind (Dingler's Journal, 91. Bd., aus Philosophical Magazine, Sept. 43.), wie dieſes Draper angab, ſcheinen bis jetzt ohne Erfolg oder doch wenigſtens ohne den beabſichtigten geblieben zu ſeyn.

Noch weniger iſt dieſes wohl mit Napier's Verfahren der Fall, welcher leinene Zeuge mit Kupfer überzog, um ein waſſerdichtes Zeug zu erhalten. Der Ueberzug ſollte pr. Quadrat-Yard nur 12 Unzen wiegen (Dingler's Journal, 91. Bd.).

Um die zu dieſen Arbeiten allen erforderliche Vitriollöſung wohlfeiler zu erhalten, räth Schubert (Dingler's Journal, 81. Bd., und Erdmann und Marchand's Journal für prakt. Chemie, 1841, Nr. 11.), die Kupferaſche der Kupferſchmiede zu kaufen, ſie mit Schwefelſäure von 15—20° Baumé zu einem dicken Brei anzurühren, dieſen auf Tel-

lern von Steingut 24 Stunden ſtehen zu laſſen und dann mit gleicher Schwefelſäure auszuwaſchen; nach dem Abgießen und Decantiren wird dieſes mit denſelben Portionen ſo lange wiederholt, bis entweder die Kupferaſche erſchöpft oder die Schwefelſäure geſättigt iſt; erſteres erkenne man daran, daß die Aſche beim Wiederanfeuchten nicht mehr roth werde, letzteres am Aufhören der ſauren Reaction und der geſättigten Farbe. Statt friſcher Schwefelſäure verwende man dann ſpäter nur die durch galvanoplaſtiſche Arbeiten erſchöpfte Flüſſigkeit.

182 **Vergoldung, Verſilberung u. ſ. w. auf galvaniſchem Wege.** Man hatte ſchon ſeit längerer Zeit beobachtet, daß ſich in einzelnen Fällen an Poldrähte, welche in Metalllöſungen tauchen, die Metalle in compactem Zuſtande niederſchlugen und feſt daran hafteten, und es war auch ſchon der Gedanke ausgeſprochen worden, dieſes zu wirklichen Ueberzügen anderer Metalle zu verwenden; allein erſt de la Rive gab dieſer Sache eine entſcheidende Wendung, indem er zeigte, wie man mit Anwendung galvaniſcher Ströme eine Goldlöſung zerſetzen müſſe, damit der als negativer Pol dienende Gegenſtand mit einer dünnen Goldſchichte gleichmäßig überzogen — vergoldet würde.

De la Rive (Dingler's Journal, 76. Bd., aus Comptes rendus, 1840, Nr. 14.) nahm eine Löſung von Chlorgold — 40 bis 80 Gran metalliſches Gold auf ein Pfund Waſſer — in eine Blaſe und hing dieſe in »mit einigen Tropfen« Schwefelſäure angeſäuertes Waſſer, in welches er Zink ſtellte; den zu vergoldenden Gegenſtand verband er durch Kupferdrähte mit dem Zink und tauchte ihn in die Goldlöſung; nach ziemlich kurzer Zeit nahm er ihn heraus, ſpülte denſelben, rieb ihn ſtark mit einem reinen leinenen Tuche, tauchte ihn wieder ein und wiederholte dieſes einige Mal. Er hielt nach ein paar Eintauchungen den Gegenſtand für ſtark genug vergoldet und glaubte nicht, das längeres Eintauchen von Nutzen ſey; denn unter den Gründen, welche ihn bei dieſem Verfahren leiteten, führt er auch folgenden an: »3. Die Eigenſchaft des elektriſchen Stromes, um ſo leichter von einer Flüſſigkeit in ein Metall und umgekehrt überzugehen, je leichter dieſes Metall von der Flüſſigkeit angegriffen wird. In dem gegebenen Falle wird das in die Goldauflöſung getauchte Metall leichter angegriffen, als das Gold ſelbſt; ſo lange folglich der eingetauchte Theil nicht gänzlich vergoldet iſt, wird der Strom die Punkte aufſuchen, wo das zu vergoldende Metall noch bloß iſt, ſie durchſtreifen und darauf Gold abſetzen, wie lang auch der Weg ſeyn mag, den er zu durchlaufen hat, d. h. ſo unregelmäßig auch die Form des zu überziehenden Gegenſtandes iſt.« Die zu vergoldenden Gegenſtände wurden rein metalliſch gemacht und blieben nach dem Vergolden matt oder polirt, wie ſie es vorher waren. Die von de la Rive hervorgebrachten Vergoldungen waren alſo jedenfalls

nur dünn; übrigens hat er dabei keinerlei Maaßbeſtimmungen, weder über Stromſtärke noch über das Gewicht des abgeſetzten Goldes gemacht. De la Rive hat anfänglich nur Silber und Meſſing unmittelbar vergoldet; Eiſen mußte vorher verkupfert werden. Böttger wiederholte auch dieſe Verſuche mit einer möglichſt neutralen Goldlöſung und will ein Rothwerden des Gegenſtandes bemerkt haben, wenn der zu leitende Kupferdraht in die Goldlöſung reichte. Kupfer könne gar nicht vergoldet werden, wenn die Goldlöſung auch nur Spuren von Kupfer enthalte, es ſchlage ſich dann nur Kupfer nieder und deshalb müſſe de la Rive's Angabe von vorherigem Verkupfern eiſerner Gegenſtände falſch ſeyn, er habe Stahlfedern u. dergl. ſehr gut ohne Verkupferung vergoldet. (Dingler's Journal, 78. Bd., aus dem Frankfurter Gewerbefreund für 1840, Nr. 40.) Mit Chlorplatin könne man auf dieſelbe Weiſe dünn verplatinen. Auch Böttger meint mit 5—6 je eine Minute dauernden Eintauchungen eine ſtarke Vergoldung zu erreichen.

Eiſen kann allerdings mit Chlorgold ohne vorherige Verkupferung ſchwach vergoldet werden und auch Arago legte der Akademie eine von Deut vergoldete Uhrfeder vor (Dingler's Journal, 80. Bd., aus France industrielle, 1841, Nr. 19.) und bemerkte dabei, daß ein Herr Perrot in Rouen ſchon früher ſolche gemacht habe und ſie der Akademie nur nicht habe vorlegen wollen, bis er eine ganze Uhr während des Ganges würde vergoldet haben (!).

Praktiſch wurde jedoch das Vergolden und Verſilbern erſt, nachdem die Cyanverbindungen eingeführt wurden. Elkington hatte in Birmingham eine Fabrik von Bijouteriegegenſtänden, wo durch Eintauchen vergoldet und verſilbert wurde, und wo man auch Verſuche machte, mittelſt Chlorgold galvaniſch zu vergolden; als aber der Chirurg John Wright die Cyanverbindungen angewendet hatte, erkannte Elkington ſogleich die hohe Wichtigkeit des Gegenſtandes, kaufte ihm die Sache ab und gewann gerade noch die Zeit, um dieſes Verfahren in die Specification ſeines Vergoldungsverfahrens aufzunehmen, worauf er bereits ein Patent angemeldet hatte. Auch in Frankreich nahm er ein Patent und kam hier mit v. Ruolz in Concurrenz, deſſen Patent übrigens ein paar Tage jünger iſt, und mit dem ſich Elkington ebenfalls verband.

Elkington wendete immer eine getrennte Zerſetzungszelle an und für Vergoldung 3 Pfund Cyankalium auf 10 Pfund Waſſer und 5 Unzen Silberoxyd oder 2 Pfund Cyankalium, 10 Pfund Waſſer, 2 Unzen Goldoxyd an; ſtarke Ueberzüge wurden dabei matt und mußten zwiſchendurch mit der Kratzbürſte behandelt werden. Eiſen mußte vorher verkupfert werden; für letzteren Zweck wurde das Eiſen unter Berührung mit Zink in auf $^1/_2$ verdünnte Schwefelſäure gebracht, bis es rein war, dann in eine geſättigte Löſung von angeſäuertem Kupfervitriol, der ſich

in einem Meſſinggefäß befand, mit dem man das Eiſen in Berührung brachte. V. Ruolz wendete in Cyankalium gelöſtes Cyangold und ebenſo auch in Cyaneiſenkalium (gelbem und rothem) gelöſtes Cyangold, auch in neutralem Schwefelkalium gelöſtes Schwefelgold an; obwohl letzteres in dem Berichte der Commiſſion, welche die Sache zu unterſuchten hatte (Dingler's Journal, 83. Bd., aus Comptes rendus, Nov. 1841.), als das beſte genannt wird, ſo machten ſie ihre Verſuche doch alle nur mit den Cyanverbindungen. Bei einem ſolchen Verſuche wurde 1 Grm. trockenes Chlorgold in 100 Grm. Waſſer mit 10 Grm. gelbem Cyaneiſenkalium gelöſt und eine Säule von 6 Daniell'ſchen Elementen, zu 2 Decimeter Seite jede Platte, angewendet; der Niederſchlag fand ſich der Zeit proportional und es wurden bei bis zu 60° C. erwärmter Flüſſigkeit auf eine Meſſingplatte von 50 Quadr.-Centimeter 0,063 Grm., bei 35° 0,0296, bei 15° 0,0126 Gold pr. Minute niedergeſchlagen, während nach den eigends hiefür angeſtellten Verſuchen von Dumas Feuervergoldungen auf gleicher Fläche höchſtens 0,1297 und mindeſtens 0,0214, Vergoldungen auf naſſem Wege aber nur 0,0137—0,0211 Grm. Gold beſitzen.

Aehnliche Reſultate erhielt die Commiſſion bei Löſungen von 1 Cyanſilber auf 100 Waſſer und 10 gelbem Cyaneiſenkalium. Mit Cyanplatin dagegen ſey die Ueberziehung 100mal langſamer gegangen, aber mit Doppelchlorplatinkalium in Aetzkali gelöſt, ſey es ſo gut gegangen als bei Gold, ſagt die Commiſſion der Akademie. Die Verſuche über das Verkupfern, Verzinnen, Verkobalten und Vernickeln ſind nur oberflächlich angegeben und nur bei Nickel iſt ſeine leichte Ablagerung auf Eiſen bemerkt und bei dem Verzinken des Eiſens auf ſein vortheilhaftes elektriſches Verhalten in Bezug auf den Schutz dieſes Metalls aufmerkſam gemacht; während ſpäter v. Ruolz behauptet (Dingler's Journal, 86. Bd., aus Comptes rendus, Aug. 1842, Nr. 6.), daß verzinktes Eiſen an bloßen Stellen viel ſtärker roſte, als verbleites oder verzinntes, was auch Elsner (Dingler's Journal, 88. Bd.) beſtätigt. Was für Umſtände dieſe widerſprechenden Verſuche begleitet haben, iſt aus den Aufſätzen nicht zu entnehmen. Wenn dagegen die Commiſſion ſagt: »Außerdem kann das Verfahren dazu dienen, um das Eiſen mit einem Meſſingüberzuge zu verſehen, wie wir uns überzeugt haben; man braucht nämlich nur Zink und Kupfer niederzuſchlagen und dann den Gegenſtand in Kohlenpulver zum Rothglühen zu erhitzen, wobei ſich Meſſing erzeugt,« ſo iſt das doch wohl nur eine Schreibpultüberzeugung und iſt jenes Stückchen, welches jede ſolche Prüfungs-Commiſſion meint, zur Erweiterung der neuen Erfindung beitragen zu müſſen.

Das neue Verfahren fand allgemeinen Beifall, und man fand bald, daß man mit vier- bis ſechsmal verdünnterer Löſung gleich gute Reſultate

erhielt, ſo wie, daß es ſicherer ſey, nur ein Element anzuwenden, oder nur die einfache Kette, indem man zum Zink Kochſalzlöſung nahm, doch zeigte ſich auch ein Uebelſtand darin, daß bei größern Quantitäten und längerer Dauer der Blauſäuregeruch läſtig war *), und daß bei Anwendung des Blutlaugenſalzes ſich gern ein blaugrüner Bodenſatz bilde (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.), während die Anwendung des Cyankaliums, bevor Liebig ſeine neue Bereitungsweiſe bekannt gemacht hatte, theuer war. Auch vergoldete man anfänglich nicht ſtark genug, indem man ſich ſeltſame Vorſtellungen von Golderſparniß machte, wodurch das Verfahren beim Publikum in Mißcredit kam; denn allerdings kann man im Feuer nicht ſo ſchlecht vergolden, als auf galvaniſchem Wege. Man legte anfänglich auch beſonders darauf Werth, daß das Stück vor dem Vergolden ganz fertig gemacht werden könne und fand erſt ſpäter, daß eine ſtarke Vergoldung immer matt werde. Daß man ſtellenweiſe einen Deckgrund auftragen könne, z. B. aus Kupferſtecherfirniß oder auch nur aus Wachs, um ſo nur gewiſſe Theile zu vergolden, hatte gleich anfänglich von Ruolz bemerkt. Daß man die Farbe der Vergoldung ins Rothe treiben könne durch Zuſatz von Cyankupfer, wurde ebenfalls bald bekannt (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.).

Man wendet jetzt gewöhnlich das Cyankalium an, welches nach Liebig's Methode bereitet iſt, da es ſo von Jedermann dargeſtellt werden kann, obwohl es immerhin noch etwas theuer wird, weil man aus den aufgewendeten Materialien nur wenig erhält. Die Vorſchrift Liebig's lautet ſo: (Dingler's Journal, 84. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, März 1842). »Wenn man 8 Theile Blutlaugenſalz auf einem heißen Eiſenblech ſtark trocknet, ſchwach röſtet, ſodann fein gepulvert mit 3 Theilen trockenem kohlenſauren Kali innig mengt und in einen heſſiſchen Tiegel, den man vorher ſchwach rothglühend macht, auf einmal einträgt und bei dieſer Temperatur erhält, ſo ſchmilzt die Miſchung anfänglich zu einem braunen Magma unter lebhafter Gasentwickelung; nach einigen Minuten ſchon, wenn die flüſſige Maſſe Rothglühhitze angenommen hat, ſieht man die dunkle Farbe heller werden und beim fortgeſetzten Schmelzen wird ſie im Tiegel klar und bernſteingelb. Steckt man von Zeit zu Zeit einen heißen Glasſtab hinein, ſo bleibt nach dem Herausziehen das Anhängende nach dem Erſtarren anfänglich braun, ſpäter wird es gelb und zuletzt, zu Ende der Operation, iſt die Flüſſigkeit, welche am Glas-

*) Gegen dieſen Uebelſtand hilft nur Luftzug, allein die Cyanverbindungen bewirken auch alle Symptome der Blauſäurevergiftung, wenn man mit wunden Händen in denſelben arbeitet und müſſen in jeder Beziehung vorſichtig behandelt werden.

ſtabe hängen bleibt, klar und farblos wie Waſſer, und erſtarrt zu einer blendend weißen kryſtalliniſchen Maſſe.

»Während des Schmelzens bemerkt man braune Flocken in der Flüſſigkeit herumſchwimmen, welche ſich zuletzt ſchwammartig vereinigen und eine hellgraue Farbe annehmen. Nimmt man nun den Tiegel aus dem Feuer und läßt ihn etwas abkühlen, ſo geſchieht es meiſtens, daß ſich das graue Pulver vollſtändig zu Boden ſetzt; durch ein ein= oder zweimaliges Umrühren mit dem Glasſtabe wird dieſes Abſetzen erleichtert. Die darüber ſtehende heiße geſchmolzene Maſſe läßt ſich nun mit der größten Leichtigkeit in eine heiße Porcellanſchale ausgießen, ohne daß bei einiger Vorſicht ein Körnchen des abgeſetzten Pulvers mitfolgt.«

Die zerſchlagene Maſſe wird in wohlverſchloſſenen Gefäßen aufbewahrt, da ſie an der Luft zerfließt und ſich im flüſſigen Zuſtande zerſetzt.

Die Goldlöſung bereitet man nun ſo: das Gold wird dünn ausgewalzt und zerſchnitten, in einer Porcellanſchale mit ſeinem ſiebenfachen Gewichte Salzſäure im Waſſerbade erwärmt und ſo lange mit Salpeterſäure nach und nach verſetzt, bis alles Gold gelöſt iſt — oder gerade zu das 10 — 12fache Gewicht Königswaſſer — und dampft bis zur Trockene ein; man löſt das Chlorgold nun in Waſſer und trennt durch Filtriren das ſich ausſcheidende gelbe Goldchlorür, aus welchem durch Behandlung mit heißem Waſſer ſich das Gold metalliſch wieder ausſcheidet, und ſetzt der Löſung ſo lange kohlenſaures Natron zu, bis ſich ſchwache alkaliſche Reaction zeigt, worauf man Cyankaliumlöſung (1 Salz auf 10 — 20 Waſſer ungefähr) unter Umrühren ſo lange zuſetzt, bis alles gelöſt und die anfängliche Trübung wieder verſchwunden iſt, worauf man die Löſung ½ Stunde lang aufkocht. Wenn die Farbe der Vergoldung nicht mehr rein wird, ſoll man etwas kohlenſaures Natron zuſetzen und wieder aufkochen, oder auch Cyankalium, beſonders dann, wenn das Gold an der Anode nicht mehr ordentlich gelöſt wird (Ryhiner, Dingler's Journal, 110. Bd.). Die Farbe wird beſonders hochroth, wenn bei gelinder Erwärmung gearbeitet wird.

Für die Silberlöſung nimmt man 1 kryſtalliſirtes ſalpeterſaures Silber auf 32 deſtillirtes Waſſer und ſetzt ſo lange Cyankaliumlöſung zu, bis die anfängliche Trübung wieder gelöſt iſt. (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd., aus den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen.) Auch wendet man friſchgefälltes und gut ausgeſüßtes Chlorſilber an, von welchem man in eine Löſung von $^1/_{10}$ Cyankalium in 1 Waſſer ſo viel nach und nach einträgt, als ſich auflöſt und dann noch einmal ſo viel Cyankalium und Waſſer zuſetzt. Letztere Löſung ſoll ſelbſt zu ſilbernen galvanoplaſtiſchen Arbeiten dienen. Für die Kupferlöſung nimmt man 1 Theil Kupfervitriol auf 12 Theile Waſſer und verfährt wie beim Silber.

Allein die Verkupferung geht nicht wohl mit einer einfachen Kette, man muß eine Säule von mindeſtens 2 — 3 Elementen anwenden.

Eine Menge von Vorſchlägen, die Anwendung anderer Verbindungen betreffend, will ich hier übergehen, da dieſelben in der Praxis keinen Eingang fanden, und nur beifügen, daß der Niederſchlag beſonders befördert werde durch Zuſatz einer ſehr kleinen Quantität von Schwefelkohlenſtoff; (Millward und Lyons, Dingler's Journal, 108. Bd., aus Repertory of Patent Inventions, Febr. 1848.) 5 Unzen Schwefelkohlenſtoff mit 6 Maaß (1 Maaß dem Volumen nach = 2 Pfd. Waſſer) der Vergoldungsflüſſigkeit und hiervon täglich 2 Unzen auf 10 Maaß Cyanmetallöſung zugeſetzt. Es wurde dieſes, wenigſtens für Silber, von Elkington beſtätigt (Dingler's Journal, 114. Bd., aus Practical Mechanics Journal, Octob. 1849.) ꝛc. Beſondere Schwierigkeiten hat das Verplatinen gemacht, ſo wie das Vernickeln, und es ſcheint nicht, als hätte man bis jetzt darin ſolche Fortſchritte gemacht, daß die Praxis daraus Nutzen ziehen könne. Nach Fehling (Dingler's Journal, 86. Bd.) und Böttger (ebend. 90. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, Sept. 1843) erhalte man noch die beſten Reſultate, wenn man den Platinſalmiak mit etwas Ammoniak verſetze. Auch für Nickel empfiehlt Böttger daſſelbe, doch iſt die vorbereitende Reinigung des käuflichen Nickels umſtändlich

Bei der galvaniſchen Verzinkung des Eiſens muß man (Pelatt, Dingler's Journal, 95. Bd., aus Technologiste, Febr. 1845) eine ſaure Löſung von ſchwefelſaurem Zink mit großer Anode von Zink anwenden, um ein dauerhaftes Reſultat zu erzielen.

Die verſchiedenen Vorſchläge, welche gemacht wurden, um Eiſen und Stahl — namentlich letzteren — ohne vorgängige Verkupferung zu vergolden, werden hier übergangen, und es können z. B. jene von Desbordeaux in Dingler's Journal vom Jahre 1845 und 1846 nachgeſehen werden; ſie hatten bis jetzt wenig oder gar keinen praktiſchen Erfolg.

Den in dem Gutachten der Akademie niedergelegten Gedanken in Bezug auf die Fällung von Legirungen — obwohl er dort bereits als durch Erfahrung beſtätigt angeführt iſt — griff ſpäter von Ruolz auf. Sein Aufſatz beginnt zwar mit den Worten: »Schon Becquerel's ſinnreiche Anwendung der Elektrochemie in der Metallurgie machte es wahrſcheinlich, daß es gelingen dürfte, auf galvaniſchem Wege Metalllegirungen aus Auflöſungen niederzuſchlagen.« Allein man muß ſich an ſolche ſeltſame Anfänge bei franzöſiſchen Aufſätzen eben gewöhnen. Es gelang wirklich von Ruolz, nach den der Akademie vorgelegten Proben Bronce auf Eiſen niederzuſchlagen, es müſſe aber das Verhältniß der Metalle in den Auflöſungen ein anderes ſeyn, als das der verlangten Legirungen. So hatte von Ruolz zu 500 Theilen Waſſer ſo viel Cyankalium geſetzt, bis die Löſung 4° Beaumé zeigte, und

dann bei 40° — 48° R. zuerſt 30 Theile Cyankupfer und dann 10 Theile Zinkoxyd zugeſetzt und daraus Niederſchläge erhalten, welche 10 — 20% Zinn gehalten hätten. Später nahm auch Jakobi (Dingler's Journal 93. Bd., aus Bulletin de St. Petersbourg) dieſen Gegenſtand auf und bereitete eine Meſſinglöſung, indem er in einer Cyankaliumlöſung eine Anode von Kupfer und eine Kathode von Platin anwendete, bis ſich letzteres verkupferte, worauf er eine Anode von Zink nahm, bis der Niederſchlag die gewünſchte Farbe erhielt, worauf er eiſerne Gegenſtände mit Meſſing unter Anwendung einer Anode von Meſſing überziehen konnte. Es iſt mir trotz vieler Verſuche nie gelungen, auf dieſe Weiſe fortan Meſſing niederzuſchlagen, indem ſich die Farbe des Niederſchlags bald änderte und die Meſſing-Anode ſchwarz wurde; auch Jakobi ſcheint einigen Aeußerungen zu Folge ähnliche Erfahrungen gemacht zu haben. Ganz gut gelang es mir aber, ſtarke und feſthaftende Meſſingüberzüge auf Eiſen zu machen, wenn ich ſtatt der Anode von Meſſing zugleich Kupfer und Zink nahm und jeden Theil ſo tief eintauchen ließ, bis die Farbe des Niederſchlags die gewünſchte war; es ſtimmt dieſes mit der oben angeführten Erfahrung von von Ruolz überein.

Daß man durch Kupfer legirtes Gold fällen könne, iſt bereits oben erwähnt, doch ſoll es zweckmäßig ſeyn, zuerſt eine Schicht von reinem Gold zu fällen ehe man der Goldlöſung das Cyankupfer zuſetze.

Wenn ſich die Metalllöſungen in Folge des Gebrauchs erſchöpfen, muß man den Strom verſtärken, oder wieder von einer concentrirten Löſung zuſetzen. Allein man wendet jetzt gewöhnlich Anoden von dem zu fällenden Metalle an und kann dadurch die Löſungen ſtets im erforderlichen Concentrationszuſtande erhalten, während man ſonſt Anoden von Platin nahm. Petzhold führt dieſes Verfahren bereits in ſeiner Schrift: »die galvaniſche Vergoldung, Verſilberung und Verkupferung — Dresden und Leipzig 1842, an, und Jakobi machte gelegenheitlich bei ſeinem Aufſatze über das Vermeſſingen darauf aufmerkſam, daß man gar nicht nöthig habe, auf chemiſchem Wege Metalllöſungen zu machen; man erhalte die Löſung, wenn man in einer Cyankaliumlöſung eine Anode des verlangten Metalls und eine Kathode von Platin anwende, ſo lange, bis ſich auf letzterem das Metall fälle. Solche Anoden werden in dünn ausgewalztem Bleche, das an einen Platindraht gelöthet iſt, angewendet. Beim Verſilbern geht das Anwenden von Silberanoden nur mit ſtarken Strömen, oder überſchüſſigem Cyankalium, weil ſich, nach Nappier (Dingler's Journal, 95. Bd., aus Philosophical Magazine, Nov. 1844), Cyanſilber bilde, welches in Waſſer und neutralem Cyanſilberkalium unlöslich ſey. Uebrigens wird, nach Nappier's Unterſuchungen, das Cyankalium nicht zerſetzt, ſo lange Silber in der Löſung iſt.

Man kann auf dieſe Weiſe auch Entgolden ꝛc., wenn man den hiezu be-

ſtimmten Gegenſtand als Anode gebraucht; es iſt dieſes ſehr zweckmäßig, wenn ein Gegenſtand durch unrichtige Leitung des Vergoldens eine ſchwärzliche Farbe annimmt. Uebrigens löſt Cyankalium Gold auch ohne galvaniſchen Strom auf.

Was die anzuwendende Stromſtärke betrifft, ſo hat die Erfahrung gelehrt, daß dieſelbe nur ſehr gering ſein dürfe und zwar ſo, daß ſich an dem zu überziehenden Metalle noch keine, oder doch nur kaum merkliche Gasblaſen zeigen. Langſamer bewirkte Ablagerungen ſind compacter und haften feſter an der Unterlage*). Man hat anfänglich an der Haltbarkeit der galvaniſchen Ueberzüge gezweifelt und Becquerel (Dingler's Journ. 89. Bd. aus Comptes rendus, Juli 1843) machte ſogar den Vorſchlag das zu vergoldende Stück zuerſt mit ſalpeterſaurem Queckſilber zu amalgamiren, hierauf zu vergolden, dann dem gewöhnlichen Färbeverfahren zu unterwerfen, da die hiebei angewendete Hitze zur Verjagung des Queckſilbers zureiche. Man hatte offenbar anfänglich das ſchlechte Halten der galvaniſchen Vergoldungen nicht der mangelnden Dicke der Goldſchicht zugeſchrieben. Baral (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Comptes rendus, Mai 1847) löſte im Feuer und galvaniſch vergoldete Gegenſtände auf, um das Goldhäutchen unterſuchen zu können, und fand, daß das galvaniſche mehr Continuität habe, glaubt aber dennoch, daß es weniger hafte, weil ſich bei der Feuervergoldung ein Doppelamalgam bilde und nach der Abtreibung dann Theile des einen Metalls in das andere hinauf reichten. Allein wenn man das Feſthalten plattirter Ueberzüge betrachtet und daß der im Feuer gebildete Ueberzug poröſer, alſo auch abnutzbarer iſt, ſo wird man ſich, abgeſehen von der Erfahrung, recht wohl über die Haltbarkeit der galvaniſchen Vergoldung beruhigen können. Die Erfahrung beſtätigt übrigens die Haltbarkeit guter Vergoldungen — ſo ſtark als Feuervergoldung — vollkommen. Galvaniſch verſilberte Gegenſtände werden mit der Zeit gerne gelb, es laſſe ſich dieſes aber dadurch verhüten, daß man die Gegenſtände nach dem Verſilbern längere Zeit in warmem Waſſer liegen laſſe und ſauber darin waſche (Dr. Philipp, Dingler's Journal, 92. Bd. aus dem Berliner Gewerb-, Induſtrie- u. Handelsblatt 1844 Nr. 2.), und gelb gewordene Gegenſtände werden wieder weiß, wenn man ſie mit einem Teige aus Waſſer und Weinſteinkohle beſtreiche, in der Wärme trockne und dann mit Waſſer und Weinſtein erhitze, gut abſpüle und trockne (Elsner, Dingler's Journal, 93. Bd.). Mouray dagegen empfiehlt das Beſtreichen der Gegenſtände mit Borax und Erhitzen derſelben bis zum Fließen

*) Ich habe übrigens unter ſtürmiſcher Gasentwicklung bis 1 Milligram Gold auf den Quadratcentimeter niedergeſchlagen, es nachher mit dem Finger, dann mit Leinwand und zuletzt mit der Kratzbürſte behandelt, ohne dabei mehr als etwa $^1/_{12}$ des aufgetragenen Goldes herunter zu bringen. Bei 2 Milligr. pro Quadratcentimeter ging bei gleicher Behandlung bis $^1/_4$ des Goldes los.

des Boraxes (Dingler's Journal, 97. Bd., aus dem Technologiste, Juni 1845).

In Bezug auf die anzuwendenden Elektricitätsquellen kommt nicht nur ihre Beſtändigkeit, ſondern auch der Koſtenpunkt, und die Unbequemlichkeit, die z. B. in Werkſtätten durch die ſalpetrichte Säure der Bunſen'ſchen und Grove'ſchen Elemente hervorgerufen wird, in Betracht. Gewöhnlich wendet man für kleine Gegenſtände einen einfachen Apparat mit einer Thierblaſe als Scheidewand an und Kochſalz oder Cyankaliumlöſung beim Zink und nimmt den zu überziehenden Gegenſtand als das andere Glied. Im Allgemeinen iſt aber eine beſondere Zerſetzungszelle vorzuziehen, ſchon wegen der Anoden von Gold ꝛc., und dann eine gewöhnliche Daniel'ſche Kette. Herzog Max von Leuchtenberg, deſſen galvanoplaſtiſche und Vergoldungswerkſtätte an Großartigkeit keiner nachſteht — die Elkington's arbeiten mehr mit Silber —, wendet Elemente aus Eiſen- und Cohksplatten an, welche mit Schwefelſäure geladen werden, wo der erzeugte Eiſenvitriol die Unkoſten ganz decke (Dingler's Journal, 97. Bd., aus Technologiste, August 1845). Es werden dieſe Batterien nur je Montags geladen, um dann mit einigen Auffriſchungen Tag und Nacht gebraucht zu werden, bis Samstags, indem ſie Nachts zum Zerſetzen der erſchöpften Goldlöſungen verwendet werden, da nicht mit Goldanoden gearbeitet wird, weil dieſe ein todtes Kapital bilden und die Arbeiter in Verſuchung führen. Die Goldlöſungen werden in der Anſtalt ſo bereitet, daß 1 Theil Gold in Königswaſſer gelöſt und trocken gedampft, dann 1 Theil kauſtiſches Kali gelöſt und dem Golde zugeſetzt, die Miſchung erwärmt und dann filtrirt wird. Der Herzog hält ſolche Goldlöſungen als die beſten zum Arbeiten, welche auf 1 Decilitre 1 — 0,25 Grammen Gold enthalten. Von der Großartigkeit dieſer Anſtalt wird man ſich eine Vorſtellung machen, wenn man erfährt, daß (Dingler's Journal, 105. Bd. aus Bulletin de l'Academie de St. Petersbourg, Nr. 130.) die in drei mit Kautſchuck ausgelegten hölzernen Behältern vorräthige Goldlöſung zuſammen 5500 Litres betrug, mit etwa 80 Pfd. Gold, wovon in der Zeit, in welcher die 204 Paare kupferner Kapitäler und Baſen für die Iſaakskirche in Geſammtgewicht von 7200 Pud à 16 Kilogr. und circa 1300 □Metre Oberfläche vergoldet wurden, monatlich zu Zeiten bis 60 Pfund ausgeſchieden wurden. Es wurden in 3 Jahren 280 Kilogramm Gold verbraucht. An jedem Tage wurden 8 Elemente für gewöhnlich als ein einzelnes Paar, aber bei ſchon erſchöpften Löſungen zu einer zweipaarigen Säule verbunden, angewendet oder man half durch Vergrößerungen der Anode ab. War der Strom zu ſtark — zeigte ſich Gas an der Kathode oder wurde der Gegenſtand dunkelfarbig, ſo half man wohl auch durch Vergrößerung der zu vergoldenden Fläche, d. h. durch Zulegen weiterer Gegenſtände. Immer wurden auch hier die Gegenſtände, wenn ſie ein mattes An-

ſehn zeigten, herausgenommen, und mit der Kratzbürſte behandelt, was bis dreimal wiederholt wurde, um gehörige Vergoldung zu erlangen.

Die Anwendung von Magnetelektriſirmaſchinen ſcheint im Großen bedeutende Vortheile zu gewähren. Sturgeon wendete ſie zwar, wie es ſcheint, zuerſt an; aber Woolrich betrieb das Vergolden ꝛc. damit zuerſt fabrikmäßig auf ein Patent, welches ihm die Elkington's abkauften (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Bulletin de St. Petersbourg, Nr. 130.), und durch ihn eine Maſchine bauen ließen für ihre Fabrik neuſilberner Gegenſtände, welche bloß zum Verſilbern täglich 7 ruſſiſche Pfund Silber verbraucht. Die Magnetelektriſirmaſchine erhielt 8 Hufeiſen aus je 12 Stahllamellen, die drittehalb Zoll breit und zuſammen vier Zoll dick ſind, vom Pol bis zur Höhe des Bogens beträgt die Länge drittehalb Fuß und die Schenkel haben im Lichte 6 Zoll Abſtand. Die Eiſenkerne der Anker ſind 6 Zoll lang und drittehalb Zoll dick und ſtehen radial auf einem Rade von drittehalb Fuß Durchmeſſer, gegen welches ebenfalls radial die Magnete gerichtet ſind. Das Rad ſoll 700 Umdrehungen in der Minute machen und der Strom 16 — 20 Unzen Silber in der Stunde ablagern.

Bei den großartigen Arbeiten des Herzogs von Leuchtenberg wurde die Quantität des abgeſetzten Goldes auf chemiſchem Wege beſtimmt, indem man aus den geeichten Vergoldungsgefäßen vor und nach dem Vergolden einen Decilitre heraus nahm und dieſen unterſuchte, wozu eigene ſehr zweckmäßige Methoden erfunden und bekannt gemacht wurden (Dingler's Journal, 99. Bd., aus Bulletin scient. figur. de St. Petersbourg). Daß bei einer ſolchen Methode nur Platinanoden gebraucht werden können, iſt für ſich klar. Kleine Gegenſtände werden vor und nach dem Vergolden gewogen. Beides iſt für den gewöhnlichen Vergolder übrigens unpraktiſch, und es bleibt ihm nichts anders übrig, als aus dem beginnenden Mattwerden polirter Stellen die Stärke der Vergoldung zu erkennen. Würde eine einfache Buſſole eingeſchaltet, ſo ſollte ſich dieſe doch wohl durch einige Verſuche auf den Goldniederſchlag für die Minute näherungsweiſe eichen laſſen, auch wenn es keine Tangentenbuſſole wäre. Jedenfalls würde eine ſolche dem Arbeiter ſtets den Zuſtand des Stromes ſicher anzeigen, während er jetzt es nicht bemerkt, wenn derſelbe ſchwächer zu werden beginnt, und nur an der Gasentwicklung und dem Braunwerden, wenn er zu ſtark iſt.

Frankenſtein führte eine neue Methode, galvaniſch zu vergolden, ein, die darin beſteht, daß das zu vergoldende Stück mit Zink in Berührung gebracht wird — größere Stücke an mehrern Stellen und mit dieſem eingetaucht wird. Das Zink wird ebenfalls vergoldet oder verſilbert und die Menge des Niederſchlags ſoll, nach Fehling (Dingler's Journal, 78. Bd.), ziemlich der Zeit proportional ſeyn. Es wird in bis 60° erhöhter Temperatur gearbeitet und der Gegenſtand muß alle 10 — 20 Minuten herausge-

nommen und gereinigt werden. Als Goldlöſungen empfahl Frankenſtein 6 Theile Blutlaugenſalz, 4 kohlenſaures Kali, 10 Waſſer, 1 Chlorgold, und für Silber: 5 Blutlaugenſalz, 5 kohlenſaures Kali, 2 Kochſalz, 5 flüſſiges Ammoniak, 1 Chlorſilber. Die Löſung wird ½—¾ Stunden gekocht und dann decantirt. Dieſe Methode iſt vielfältig in die Werkſtätten übergegangen und es wird dabei die gewöhnliche Cyangoldkaliumlöſung angewendet, unter Zuſatz von etwas Aetzkali oder Natron, und kleinere Gegenſtände, Löffel u. dgl., nur allſeitig mit weichen Meſſingdraht locker umwickelt. Frankenſtein hat auf dieſe Weiſe (Dingler's Journal, 90. Band, aus Inneröſtreichiſchem Gewerbeblatt.) ein Kirchthurm-Kreuz nebſt Knopf ſtückweiſe vergoldet, von zuſammen 50 □Fuß Oberfläche je mit 3 — 4 Eintauchungen von 5 — 10 Minuten und dazu 25 Ducaten niedergeſchlagen. Die Goldhaut war nach ſolcher Behandlung matt, was auch bei ½ Ducaten pr. Quadratfuß immer eintritt. Eine ſolche Vergoldung kommt nach den früher angeführten Unterſuchungen von Dumas einer beſſern Feuervergoldung gleich *). Becquerel hat (Dingler's Journal, 92. Bd., Comptes rendus, März. 1844, Nr. 2.) zahlreiche Verſuche über die Fällung der Metalle und ihrer Löſungen durch andere Metalle gemacht, ſelbſt auf Zink, die er zum Theile wenigſtens den durch Unreinigkeiten im käuflichen Zink hervorgerufenen galvaniſchen Strömen zuſchreibt. Adhärirende Metallniederſchläge erhält er jedoch vorzugsweiſe nur unter Berührung mit Zink, und wenn das zu fällende Metallſalz mit einem Alkaliſalze zu einem möglichſt neutralen Doppelſalze verbunden war. In ſaurer Flüſſigkeit erhält man auch bei Anwendung beſonderer Zerſetzungszellen keine anhaftende Niederſchläge. Schließlich ſey hier noch der Beſtrebungen erwähnt, Seidenfäden oder Seidengewebe galvaniſch zu vergolden, worauf — freilich ohne Beeinträchtigung ihrer Biegſamkeit und ihrer Stärke — der preußiſche Gewerbverein einen Preis ſetzte, der aber bis jetzt, meines Wiſſens, noch nicht gewonnen wurde.

183 **Aetzen durch Galvanismus.** Spencer ſcheint dieſen Gedanken zuerſt verfolgt zu haben, er nahm darauf im Auguſt 1840 ein Patent. Das Aetzen nahm er in einer beſondern Zelle vor, wo die zu ätzende Platte von der entgegenſtehenden Kupferplatte durch eine poröſe Scheidewand getrennt war und als Anode diente. Bei der als Kathode dienenden Kupferplatte wurde ſtets Kupfervitriol, bei der zu ätzenden Platte aber eine nach dem Metalle verſchiedene Flüſſigkeit angewendet (Dingler's Journal

*) Bei der Umwicklung mit Meſſingdraht, an deſſem Ende etwas Zink iſt, fällt die Vergoldung röthlich aus, wohl in Folge der Auflöſung des Kupfers aus dem Meſſing. Eiſen habe ich ſo ohne vorherige Verkupferung vergoldet.

80. Bd.). Man wendete für Kupfer verdünnte Schwefelſäure an; allein es ſcheint nicht, daß dieſes Verfahren wirklich in die Praxis überging, da, nach Haſſe (Dingler's Journal 84. Bd., aus Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen 1841, 5), die Aetzung gegen den Rand hin immer ſtärker iſt als in der Mitte, und derſelbe Uebelſtand um ſolche Stellen herum ſich wiederholt, die man gedeckt hat, weil ſie tief genug geätzt waren. Grove (Dingler's Journal 82. Bd., aus Philosophical Magazine Sept. 1841) ätzte Daguerreotypplatten auf folgende Weiſe: Er nahm eines ſeiner Elemente, deſſen Platten ſo groß waren als die zu ätzende Platte, brachte dieſe in einen hölzernen Rahmen in 0,2 Zoll Abſtand, einer Smee'ſchen verplatinten Platinplatte gegenüber, und tauchte dieſes in verdünnte Salzſäure während 25—30 Secunden, nachdem vorher die Verbindung mit dem Elemente hergeſtellt war. Die Daguerreotypplatte wurde vorher am Rande und hinten mit Schellack gefirnißt und nach dem Aetzen in Ammoniaklöſung mit Baumwolle ſachte gewaſchen, in reinem Waſſer geſpült und getrocknet. Die feinſten Linien waren zwar verſchwunden, allein die Platte gab doch gute Abdrücke. Grove hält ſie jetzt beſonders geeignet zu galvanoplaſtiſchen Abzügen, um dann mit dieſen zu drucken.

Um die gleiche Zeit haben ſich auch Steinheil in München und Fizeau in Paris mit dem Aetzen von Daguerreſchen Platten beſchäftigt. Die Platten von Fizeau hielten 30—40 Abdrücke aus.

Nobili's Ringe. Die Verſuche Nobili's ſind älter als die 184
Periode, auf welche ich mich beſchränke, und gehen zum Theil bis zum Jahre 1826 zurück. Er verfolgte die Sache mit vielen Flüſſigkeiten und auf Platten von ſehr verſchiedenem Metalle bald am poſitiven, bald am negativen Pole. — Eine tabellariſche Zuſammenſtellung der Verſuche von Nobili findet ſich in Poggd. Annal. Bd. X u. daraus in Dingler's Journ. 94. Bd.

Nobili hatte die ſchönſten Farben aus eſſigſaurem Blei erhalten, wenn er die Metallplatte am poſitiven Pole anbrachte und den negativen Pol in die Flüſſigkeit tauchen ließ. Er ſoll auch monochromatiſche Ueberzüge zu Stande gebracht, aber dieſes Niemanden mitgetheilt haben. Böttger gelang es, ſolche Ueberzüge auf Platin zu erhalten aus verſchiedenen Manganoxydulſalzen (hippurſaurem, eſſigſaurem, bernſteinſaurem), wobei die am poſitiven Pole angebrachte Platinplatte in die Löſung gelegt und die negative, ebenfalls kreisförmige Platte ihr gegenüber gehalten wurde. Daß auch der negative Pol in eine Platte endige, ſei aber nicht nöthig; man erhalte mit den genannten Salzen nur einfarbige, nach und nach die Farbe wechſelnde Töne, wenn auch nur ein Platindraht angewendet werde, und könne den Verſuch bei einer beliebigen Farbe unterbrechen. Nur

Manganchlorür gab farbige Ringe, wie eſſigſaures Blei. Böttger hatte in ſeinen Löſungen 1 Theil Salz auf 12—16 Theile Waſſer und eine vierelementige Säule. Böttger gab auch zur bequemern Ausführung an, man ſolle einen kurzen Platindraht in die Mitte einer runden Platinplatte löthen und eine Glasſchale in der Mitte durchbohren und dieſen Draht durch Kork durch die Oeffnung führen, ſo daß er kurz über den äußern Boden der Schale hervorrage und die Platinplatte in der Mitte des inneren Bodens liege. Die Glasſchale ſoll ſodann auf ein Brett mit eingebohrtem Queckſilbernapf geſtellt werden, in welchen der Draht der Schale und durch das Brett ein anderer Draht reiche, um ſo den poſitiven Strom einzuleiten.

Elsner (Gewerbeblatt für Sachſen 1842 Nr. 29; Dingler's Journ. 85. Bd.) wendete Fechner's einfaches Verfahren, Nobiliſche Ringe zu erzeugen, auf Stahlplatten an; er begoß ſie mit ſaurem eſſigſauren Kupfer (Grünſpanlöſung in Eſſig), berührte ſie an verſchiedenen Stellen mit einem Zinkſtäbchen, trocknete ſie ab und erwärmte ſie über einer Weingeiſtlampe, wobei ſich verſchiedene Farben nach und nach entwickeln, und man bei einer beliebigen Farbe innehalten kann. Den dem Aufſatze beigefügten theoretiſchen Betrachtungen ſcheinen nicht gerade klare Gedanken zu Grunde zu liegen, und ſie können daher um ſo eher umgangen werden.

Becquerel wiederholte (Comptes rendus, Fevrier 1844 N. 6.; Dingler's Journ. 91. Bd.) die Verſuche von Nobili auf mannigfaltige Weiſe und fand namentlich prachtvolle Farbenniederſchläge auf verſchiedene Metalle, wobei er dieſe als poſitive Pole in eine Löſung von Bleiglätte in Aetzkali brachte und als negativen Pol einen Platindraht oder eine kleine Platinplatte anwandte. Es ſcheidet ſich am Platin Blei und am poſitiven Pole Bleihyperoxyd ab, welches die prächtigen Farbenreihen giebt. Becquerel kochte die fein gepulverte Bleiglätte längere Zeit in einer Aetzkalilöſung von 20—22 Grad Baumé und nahm ſechs Daniell'ſche Elemente zur Säule verbunden. Die Farben entwickeln ſich jedoch bei ſchwächeren Löſungen und weniger Elementen ſehr ſchnell, wenn man kleine Platinbleche anwendet; nur bei ganz feinen in Glas bis an die Spitze eingeſchmolzenen Platindrähten ſind mehr Elemente nöthig; man erhält aber dabei auch die Ringe ſchöner rund.

Becquerel will durch Anwendung vieler Drähte, die wie Strahlen aus der Glasröhre aus einander und gegen die poſitive Metallplatte laufen, gleichförmige Töne erhalten haben. Dieſe Farben halten ſehr feſt gegen feinere Putzmittel, wie Engliſchroth, verändern ſich aber, wenn ſie ſauren oder ammoniakaliſchen Dämpfen ausgeſetzt ſind. Becquerel empfiehlt dagegen folgenden Firniß, von dem man warm nach einander zwei Schichten auftragen ſoll: ½ Litre Leinöl, 4—8 Gramm fein gepulverte Bleiglätte und 2 Gramm Zinkvitriol werden mehrere Stunden

lang mäßig erhitzt und dann filtrirt. Allein nach Becquerel's eigener Angabe verändern ſich dabei einzelne Farben. Das Gleiche iſt der Fall bei Schellackfirniß. Becquerel hat Verſuche mit Gold, Kupfer, Silber (gab keine ſchönen Farben), Platin, Argentan, Stahl angeſtellt; auch auf Glockenmetall gehen dieſelben ſehr gut, Zinn bedarf jedoch vorher einer, wenn auch noch ſo dünnen Vergoldung.

Der jüngere Becquerel hat (Ann. de Chim. et de Phys., März 1845, Dingler's Journal 96. Bd.) darauf aufmerkſam gemacht, daß die Farbenordnungen, die man ſo erhalte, jenen des durchgelaſſenen Lichtes entſprechen, und auch behauptet, die Dicke der Schichten vom Mittelpunkte der Ringe aus nehme im umgekehrten Verhältniſſe der Halbmeſſer ab. Zur Nedden (Dingler's Journal 94. Bd.) ſuchte nun die Anſicht zu beſtreiten, als rührten dieſe Farben überhaupt von den »dünen Blättchen« her, und will ſie von den Farben der niedergeſchlagenen Verbindungen und der Metalle ableiten. Allein, wenn man auch den Einfluß dieſer beiden Urſachen auf den Ton der einzelnen Farben nicht beſtreiten will, ſo ſind die Farbenordnungen, wie man ſie z. B. auf Argentan erhält, verglichen mit jenen eines keilförmigen Gypsblättchen, doch ganz unzweifelhaft jene, die man bei gekreuzten Spiegeln des Polariſationsapparates erhält.

Gegen die oben angeführte Behauptung Edmund Becquerel's, daß die Dicke der Schichten umgekehrt wie die Halbmeſſer der Ringe ſich verhalte, welche Becquerell auf theoretiſche Betrachtungen gegründet und an zwei ausgeſuchten Platten durch Meſſungen beſtätigt gefunden, traten Du Bois-Reymond und Benz auf (Poggd. Annal. 71. Bd.); Erſterer leitete aus einer genauern theoretiſchen Unterſuchung das Geſetz ab, daß die Dicke der durch die elektriſchen Ströme in verſchiedenen Entfernungen von der negativen Spitze niedergeſchlagenen Schichte umgekehrt wie die Kuben der Halbmeſſer ſich verhalten müſſe, und Benz wies durch Verſuche nach, daß dieſes wirklich ſo ſei. Der Widerſpruch der beiderſeitigen Verſuche iſt noch nicht gelöſt.

Die prachtvollen Farben, die man auf die angegebene Weiſe erhält, werden bereits in den Gewerben benutzt zum Ueberzuge von Tiſchglocken, Fidibusbechern und andern kleinen aus Meſſing gedrückten Waaren. Man bereitet dabei die Bleioxydätzkalilöſung aus 1 Aetzkali auf 5 — 6 Waſſer, bringt es nebſt fein gemahlener Bleiglätte im Ueberſchuß in einem irdenen Gefäß ins Kochen und unterhält dieſes etwa ½ Stunde lang unter beſtändigem Umrühren, worauf die Löſung filtrirt und in einem wohl verſchloſſenen Gefäße aufbewahrt wird. Beim Gebrauch gießt man die Löſung in ein Gefäß von Blei oder Meſſing, das den zu überziehenden Gegenſtand ſehr bequem faſſen kann, verbindet dieſen mit dem poſitiven Pole einer dreipaarigen Daniell'ſchen Kette, ſenkt ihn in die Bleilauge und verbindet jetzt erſt

den negativen Pol mit der Außenſeite des Gefäßes. Man muß die Stromſtärke mittelſt der Ladungsflüſſigkeiten durch einige Verſuche ſo reguliren, daß die Bildung der Ringe — wovon übrigens gewöhnlich nur die zwei erſten Syſteme ſchön entwickelt werden — etwas langſam geſchieht, damit man ſicherer bei einer beſtimmten Färbung den Strom unterbrechen kann. Meſſingene Gegenſtände machen hierbei inſofern eine Ausnahme, als ſie nur nach und nach mit dem ſcharfem Rande voraus in die Löſung bei ſchon geſchloſſener Kette geſenkt werden dürfen, wie ſchon Becquerel bemerkt hatte. Alle Gegenſtände müſſen rein geputzt ſein, entweder mit Wienerkalk oder mit Engliſchroth, und dürfen nach dem Putzen nicht mehr mit den bloßen Fingern berührt werden. Firniß wird gewöhnlich nicht angewendet.

185 **Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen auf galvaniſchem Wege.** Dieſe Aufgabe hatte ſich vorzugsweiſe Becquerel geſtellt; allein ſo groſsartig die von ihm anfänglich eröffneten Ausſichten waren, um ſo bedeutend er von verſchiedenen Seiten durch Zuſendungen unterſtützt worden zu ſein ſcheint, ſo iſt doch im Ganzen kein erkleckliches Reſultat gewonnen worden. So läßt ein Bericht in den Comptes rendus von 1840 (Dingler's Journal 77. Bd.) die Vortheile des neuen Verfahrens im glänzendſten Lichte erſcheinen, allein obwohl von gar mancherlei elektriſchen Wirkungen geſprochen wird *), ſo erfährt man über den in Rede ſtehenden Gegenſtand eigentlich weiter nichts, als daß die Methode nach den Erzen verſchieden ſei, und daß eine geringe Röſtung vorhergehen müſſe, wenn das Erz nicht reguliniſches Silber oder Silberſulphurid enthalte, denn auf Silbererze beſchränkt ſich die Sache vorerſt, allein es ſollte auch der Reihe nach an die andern Metalle kommen. Ueberhaupt hat Becquerel die Art, durch Hereinziehen von zur Sache ganz und gar nicht gehörigen Ausſchweifungen das Verſtändniß ſeiner Aufſätze außerordentlich zu erſchweren und die Geduld des Leſers zu ermüden.

In einer ſpäteren Nachricht der Comptes rendus von 1842 1. Semeſter Nr. 4 (Dingler's Journal 84. Bd.) kommt Becquerel nach einer

*) Zur Probe: Verſuche, welche ſich auf die Geſchwindigkeit der Elektricität gründen (dieſe Geſchwindigkeit beträgt über 90,000 Meilen in der Secunde, und iſt alſo größer als die des Lichtes), haben gezeigt, daß die mit den Atomen der Körper verbundene Quantität Elektricität ungeheuer groß iſt. Die Elemente eines einzigen Grammes Waſſer ſcheinen nach den Verſuchen eines berühmten Phyſikers 80,000 Ladungen einer elektriſchen Batterie zu enthalten, die aus acht gleichen Flaſchen von 0,2 Meter Höhe und 0,6 Meter Umfang beſteht, wozu 30 Umdrehungen einer kräftigen Elektriſirmaſchine erforderlich ſind. Wenn alſo nur dieſe ganze Menge von Elektricität plötzlich frei würde, ſo wäre ſie hinreichend, ein Haus mit dem ſchrecklichſten Knalle zu zertrümmern u. ſ. w.

ähnlichen Einleitung an ſeine Verſuche, Gold auszuſcheiden. Sein Verfahren iſt folgendes: man bereitet eine Löſung des Erzes in Salzſäure und eine andere ſalzſaure Löſung, welche alle übrigen mit dem Golde vorkommenden Metalle in demſelben Verhältniſſe enthält, wie ſie ſich im Erze finden, beide Löſungen von gleicher Dichtigkeit; dieſe beiden Löſungen dienen als erregende Flüſſigkeiten einer einfachen Kette, die Goldlöſung in dem innern Gefäße mit einem Thonpfropfen als Boden und einer Platinplatte, die der andern Metalle im äußern Gefäß mit einer Kupferplatte. Die Kette werde ſo lange geſchloſſen, bis alles Gold auf das Platin abgelagert ſey. Aus der Gewichtszunahme des Platins ſchloß Becquerel auf die Menge des Goldes. Es möchte jedoch die Gewinnung des Goldes vom Platin bei der Anwendung im Großen wieder mancherlei Schwierigkeiten haben, wenn man auch nicht darauf ausgehen wollte, die Goldlöſung jedesmal ganz zu erſchöpfen.

Ein ähnlicher Vorſchlag wurde ſchon früher (Dingler's Journal 80. Bd., aus dem Mechanics Magazine N. 911) von einem Hrn. Byer gemacht, dem aber Martin Roberts die Priorität beſtritt, jedoch mehr in der Abſicht, Erze quantitativ zu probiren, nachdem ihre qualitative Analyſe bekannt iſt. Das Erz wird nach gehöriger Zubereitung gelöſt und die Löſung als die eine Flüſſigkeit, verdünnte Salz- oder Schwefelſäure als die andere in einer einfachen Kette verwendet. Als Metalle ſollen immer nur zwei in der Spannungsreihe zunächſt ſtehende genommen werden, und zwar als negatives dasjenige Metall, welches ausgefällt werden ſoll. Hat man z. B. unter Anderm Eiſen in der Flüſſigkeit, ſo wird Eiſen und Zink genommen, und eine gewogene Portion Erzlöſung zur gewogenen Eiſenplatte gebracht und die Kette bis zur Erſchöpfung an Eiſen, welches ſich allein auf der Eiſenplatte niederſchlagen ſoll, geſchloſſen. Hat man Kupfer in der Löſung, ſo nimmt man Kupfer und Eiſen, und ſo könne man ſucceſſive verſchiedene Metalle ausſcheiden und aus der Gewichtszunahme des negativen Metalls die Menge beſtimmen.

In den Comptes rendus, Mai 1846 (Dingler's Journal 101. Bd.), giebt Becquerel ein Verfahren an, einige in Waſſer unlösliche Silbererze zu zerſetzen. Er bringt dieſelben mit einer Kochſalzlöſung in ein mit dem unvermeidlichen Thonpfropfen verſehenes Glas, welches in ein zweites Glas mit Kochſalzlöſung geſtellt wird; in letzterem ſteht Zink, von welchem ein Silberdraht zu dem Erze reicht. Das Silber wird reducirt, indem das durch Zerſetzung des Chlornatriums frei gewordene Natrium das Chlor des Chlorſilbers z. B. aufnimmt und ſo das Silber in einem mehr oder weniger lockern Zuſtande zurückläßt. Das Silber war um ſo compacter, je ſchwächer der Strom war, d. h. je verdünnter die Kochſalzlöſung und je enger die mit Thon zu verſtopfende Oeffnung genommen wurde;

es dauerte aber immer eine bis mehrere Wochen, bis ein nur mäßiges Stück Silber reducirt war.

Allein auch hier war Becquerel nicht der Erſte, der dieſe oder doch eine ſehr ähnliche Methode bekannt machte, indem der Mechanikus und Goldprobirer Oechsle in Pforzheim ſchon 1842 im 86. Bande von Dingler's Journal folgende Methode zur Reducirung des Chlorſilbers angab. Chlorſilber wird mit einer geſättigten Kochſalzlöſung zu einem dicken Brei angerührt und dieſer in eine poröſe Zelle gebracht, welche in einem Gefäße mit auf $\frac{1}{20}$ verdünnter Schwefelſäure ſteht; in letztere kommt Zink, zum Chlorſilber Platin oder Silber, und man läßt die Kette ſo lange geſchloſſen, bis beim Umrühren ſich in dem grauen Silberſchlamm keine milchichten Streifen mehr zeigen, wäſcht dann aus und trocknet. Ein ähnliches Verfahren iſt dann wieder in Poggendorf's Annalen 1848 Nr. 11 beſchrieben.

James Nappier (Dingler's Journal 97. Bd., aus Repertory of Patent-Inventions, Juli 1845) will die Metalle im geſchmolzenen Zuſtande reduciren, indem er die Schwefelmetalle geröſtet mit den nöthigen Flußmitteln in einen Graphittiegel bringt, der innen mit Ausnahme des Bodens mit Lehm überſtrichen wurde. Wenn alles im Fluſſe iſt, bringt er auf die Maſſe eine an einen Eiſenſtab genietete Eiſenplatte und außen an den Tiegel einen andern Eiſenſtab, beide in Verbindung mit den betreffenden Polen einer Batterie.

Um Kupfer metalliſch zu gewinnen, nahm William Ritchie 1844 Patent auf ein Verfahren, welches in der Hauptſache mit dem in den Comptes rendus von 1845 von Dechaud und Gautier de Claubry beſchriebenen übereinkommt (beide in Dingler's Journal 97. Bd.) und im Weſentlichen darin beſteht, aus den Schwefelverbindungen des Kupfers Kupfervitriol zu gewinnen und dieſen galvaniſch zu zerſetzen. Der Apparat hierzu beſteht in großen Trögen mit mehrern Abtheilungen hinter einander, deren jede durch Pappe in zwei Theile getheilt iſt, in deren einem Kupfervitriol und eine Bleitafel — verbleites Eiſenblech —, in der andern Eiſenvitriol und eine gußeiſerne Platte ſtehen, die zuſammen eine einfache Kette bilden. Die Erfinder glauben auf jeden Quadratmeter Platte in 24 Stunden ein Kilogramm Kupfer zu erhalten und von dem in der Löſung befindlichen Kupfer 50 Proc. in Platten, 25 Proc. in Körnern und den Reſt in fein zertheiltem Zuſtande zu erhalten. Die Flüſſigkeiten werden den Apparaten aus großen Behältern ſtets in der erforderlichen Concentration zugeführt, ſo wie die geſchwächte Kupfervitriollöſung und die geſättigte Eiſenvitriollöſung ſtets abgeführt. Ueber den eigentlichen Nutzen dieſes Verfahrens mangeln bis jetzt noch genauere Angaben.

Sechster Abſchnitt.

Magnetismus und Elektromagnetismus.

Tragkraft hufeiſenförmiger Magnete. Ueber die Tragkraft huf- 186
eiſenförmiger Magnete hat Häcker in Nürnberg zahlreiche Verſuche angeſtellt und in Poggendorff's Annalen veröffentlicht (57. Bd. S. 321).

In der Regel nimmt die Tragkraft der Magnete in Folge wiederholten Abreißens des Ankers ab; ſobald dies der Fall iſt, kann natürlich von einer conſtanten Tragkraft des Magnetes keine Rede ſein, denn eine ſolche iſt diejenige, welche ihm bleibt, wenn auch der Anker wiederholt abgeriſſen wird. Häcker hat nun Magnete dargeſtellt, welche in der That die Eigenſchaft haben, einen gewiſſen Grad von Magnetismus unverändert beizubehalten, wie oft man auch den Anker abreißen mag.

Ueber die conſtante Tragkraft ſolcher Magnete hat er zahlreiche Verſuche angeſtellt, unter denen wir folgende hervorheben, welche ſämmtlich mit Hufeiſenmagneten angeſtellt wurden, die nur aus einer einzigen Lamelle beſtehen.

Gewicht des Magneten.	Tragkraft.
1 Loth.	1 Pfund.
4 »	3 »
8 »	4,8 »
16 »	7 »
1 Pfund.	12 »
2 »	18 »
4 »	26 »
7 »	42 »
12 »	65 »
20 »	100 »
40 »	150 »

Die Tragkraft ſämmtlicher Magnete wird größer ſein und faſt das Doppelte betragen, wenn der Anker nach dem Magnetiſiren nicht abſichtlich mehrmals abgeriſſen worden wäre. In dieſem Falle iſt jedoch die Kraft nicht conſtant, ſondern nur vorübergehend.

Man ſieht aus obiger Tabelle ſehr deutlich, daß die Tragkraft des Magneten keineswegs der Maſſe proportional wächſt, ſondern daß ſie für größere Magnete verhältnißmäßig geringer wird. So trägt ein Magnet von 1 Loth das 32fache, ein Magnet von 40 Pfund nur etwas mehr als das 3fache ſeines Gewichtes.

Häcker hat nun noch kleinere Magnete gemacht, ein ſolcher, welcher

$^1/_{16}$ Loth ſchwer war, trug 7 Loth.
$^1/_{32}$ » » » » 4 »
$^1/_{64}$ » » » » 2,5 »
$^1/_{120}$ » » » » 1,8 »

Das Verhältniß des Tragkraft eines Magneten zu ſeiner Maſſe hat Häcker durch die Formel

$$M = a \sqrt[3]{P^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

ausgedrückt, in welcher M die Tragkraft und P das Gewicht des Hufeiſenmagneten bezeichnet, a aber ein conſtanter Factor iſt, für welchen man als Mittel aus den beſten Verſuchen Häcker's den Zahlenwerth 40 ſetzen muß, wenn P und M in Lothen, hingegen 12,6 wenn ſie in Pfunden ausgedrückt ſind. Nach dieſer Formel berechnen ſich folgende zuſammen gehörige Werthe von Gewicht und Tragkraft der Häcker'ſchen Hufeiſenmagnete.

Gewicht.	Tragkraft.
4 Loth.	3 Pfund 4 Loth.
8 »	4 » 31 »
16 »	7 » 28 »
1 Pfund.	12 » 17 »
2 »	19 » 28 »
4 »	31 » 19 »
7 »	45 » 28 »
12 »	65 » 22 »
20 »	92 » 12 »
40 »	146 » 18 »
60 »	192 » 5 »
100 »	270 » 3 »
1000 »	1253 » 24 »
1972 »	1972 » — »

Dem durch obige Formel ausgedrückten Geſetze ganz entſprechend iſt die Tragkraft eines aus mehreren Lamellen zuſammengeſetzten Magneten, nicht die Summe der Tragkräfte der einzelnen. Fünf zehnlöthige Lamellen, deren jede eine Tragkraft von 3,7 Pfund hatte, zu einem einzigen Magneten vereinigt, hatten nur eine Tragkraft von 10,5 Pfund, während die Summe der Tragkräfte der einzelnen Lamellen 18,5 beträgt.

Wenn auch die Häcker'ſchen Magnete durch wiederholtes Abreißen des Ankers nicht an Kraft abnehmen, ſo wird ihr Magnetismus doch durch mancherlei Einwirkungen geſchwächt. Man darf den Magneten nicht erhitzen, nicht fallen laſſen, nicht durch Schlagen oder Stoßen erſchüttern ꝛc. Das Anlegen des Ankers iſt zu empfehlen, überflüſſig aber iſt es, daß der Magnet ſtets belaſtet ſei.

Häcker giebt über die Art, wie er ſeine Magnete verfertigt hat, über das Material, aus denen ſie gemacht wurden, über Härtung und Anlaſſen gar nichts an; jedenfalls ſind ſeine Magneten von ausgezeichneter Qualität, und wenn andere ſchlechtere Magnete der Art nach auch ähnliche Reſultate geben, d. h. wenn auch für ſie die Gleichung 1) gilt, ſo iſt doch ſicherlich der Werth des Factors a von der Natur der Stahlſorte und von dem Grade der Härtung abhängig. Sehr wünſchenswerth wäre es, wenn wenigſtens für mehrere Stahlſorten der Werth von a, wie er den verſchiedenen Graden des Anlaſſens entſpricht, genau ermittelt würde. Jedenfalls liefert uns die Häcker'ſche Unterſuchung ein treffliches Material, um die Güte eines Magneten zu beurtheilen.

Logeman und Wetteren in Harlem haben es in der Darſtellung kräftiger Stahlmagnete noch weiter gebracht. Vor kurzem ſchickte mir Herr Logeman einen Hufeiſenmagneten, der bei einem Gewicht von nicht ganz 1 Pfund (460 Gramm) eine Tragkraft von 26 Pfund (13 Kilogramm) hat, alſo mehr als das doppelte von dem, was man nach der Formel berechnet; jedenfalls ſind demnach die Magnete der Harlemer Mechaniker die kräftigſten, welche bis jetzt dargeſtellt wurden.

»Die Art und Weiſe der Verfertigung«, ſchreibt mir Herr Logeman, »iſt das Reſultat der in der letzten Zeit von Herrn Elias angeſtellten »und abſichtlich noch nicht veröffentlichten Verſuche«.

Mir ſcheint die größte Schwierigkeit, welche ſich der Herſtellung kräftiger Elektromagnete entgegengeſtellt, die Darſtellung eines geeigneten Stahles zu ſeyn. — Jedenfalls muß der Stahl ſehr hart ſeyn, weil er ſonſt nur eine geringe Coercitivkraft hat. Früher konnte man ſo harten Stahl nicht leicht magnetiſiren, jetzt aber, wo man an den Elektromagneten die kräftigſten Magnetiſirungsmittel hat, bieten ſich von dieſer Seite her keine Schwierigkeiten mehr.

187 **Verſuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetſtäbe.** In demſelben Aufſatze theilt Häcker auch ſeine Verſuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetſtäbe mit. Aus denſelben folgt, daß innerhalb gewiſſer Gränzen die Schwingungsdauer bei gleichem Querſchnitt der Quadratwurzel aus der Länge und bei gleicher Länge der Kubikwurzel aus dem Gewichte des Magnetſtabes proportional iſt. Daraus ergiebt ſich dann zwiſchen der Schwingungsdauer T, dem Gewichte P und der Länge L eines Magnetſtabes folgende Beziehung:

$$T = c \sqrt[3]{P} . \sqrt[6]{L} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

wo c einen conſtanten Factor bezeichnet, der für die Häcker'ſchen Magnetſtäbe den Werth 2,67 hat, wenn L in pariſer Zollen und P in Lothen (bairiſch; das bairiſche Pfund = 560 Gramm), ausgedrückt iſt. In der folgenden Tabelle iſt die beobachtete Schwingungszeit mehrerer Magnetſtäbe mit den nach obiger Formel für $c = 2,67$ berechneten, zuſammengeſtellt.

Länge	Gewicht	Schwingungsdauer	
des Stabes.		beobachtet.	berechnet.
3 Zoll	1,06 Loth	3,26 Sec.	3,26 Sec.
6 »	2,31 »	4,62 »	4,74 »
9 »	3,31 »	5,60 »	5,71 »
9 »	8,5 »	8,23 »	7,83 »
12 »	3,75 »	6,61 »	6,25 »
12 »	11 »	9,23 »	8,95 »

Bei den ſtärkſten Magnetſtäben, welche Häcker ſpäter noch darſtellte, brachte er den Factor c bis auf 2,35 herunter.

Die Form des Querſchnittes der Stäbe iſt hier ohne Einfluß, ſo lange man ſich nicht gar zu ſehr von den gewöhnlichen Dimenſionen entfernt, die Formel 2 gilt alſo eben ſo wohl für maſſive Cylinder als für hohle, und ſomit erklärt ſich leicht, warum bei gleichem Durchmeſſer hohle Cylinder ſchneller ſchwingen als maſſive.

Die Formel 2 giebt uns auch einen Anhaltspunkt, um die Stufe der Magnetiſirung verſchiedener Magnetſtäbe zu vergleichen. Ein Magnetſtäbchen z. B., welches ich unterſuchte, war 3,8 Zoll lang und wog 1,1 Loth. Daraus ergiebt ſich für $c = 2,67$ die Schwingungszeit $T = 4,29$, während jenes Stäbchen zu einer Schwingung 4,74 Secunden brauchte; es war alſo nicht ſo ſtark magnetiſirt wie die Häckerſchen.

Verhältniß der Tragkraft zur Schwingungszeit. An einer 188
Reihe von Magnetſtäben hat Häcker ſowohl die Schwingungsdauer, als auch die Tragkraft eines einzelnen Poles beſtimmt. Die folgende Tabelle giebt eine Zuſammenſtellung der Häcker'ſchen Beobachtungsreſultate mit den berechneten Werthen (P. A. LXII. 366).

Länge des Stabes.	Gewicht des Stabes.	Tragkraft eines Poles		Schwingungsdauer	
		beobachtet.	berechnet.	beob.	berechn.
$2\frac{2}{3}$ Zoll	0,25 Loth	7,5 Loth	7,9 Loth	1,80 Sec.	1,98 Sec.
2 »	0,815 »	17 »	17,4 »	2,39 »	2,79 »
3 »	1,062 »	22 »	21,0 »	2,76 »	3,27 »
4 »	1,594 »	30 »	27,9 »	3,25 »	3,92 »
6 »	2,125 »	30 »	33 »	4,34 »	4,62 »
$5\frac{1}{12}$ »	4,062 »	48 »	51 »	4,94 »	5,45 »
$7\frac{1}{2}$ »	8,500 »	76 »	83 »	6,80 »	7,49 »
$12\frac{3}{4}$ »	34,500 »	200 »	212 »	11,8 »	13,26 »
$17\frac{1}{2}$ »	81,000 »	344 »	374 »	16,55 »	18,52 »

Die Tragkraft eines Poles wurde nach der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ berechnet, indem für a der Werth 20 eingeführt wurde. In der That ſtimmen die berechneten Werthe ſo genügend mit den beobachteten überein, daß dadurch die Gleichung 1) auch für dieſen Fall gerechtfertigt erſcheint, nur müßte man den Factor a etwas kleiner annehmen; als Durchſchnittswerth ergiebt ſich aus obigen Beobachtungen $a = 19{,}5$.

Aus dem Umſtande, daß der in der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ zu ſetzende Werth von a ſich hier, wo es auf die Berechnung der Tragkraft eines Poles ankam, faſt halb ſo groß iſt, als der Werth, den wir bei der Berechnung der geſammten Tragkraft eines Hufeiſenmagneten einzuführen hatten, könnte man zu der Meinung verleitet werden, als ob die Tragkraft eines Poles die Hälfte ſey von der geſammten Tragkraft eines Hufeiſenmagneten. Ein Hufeiſenmagnet trägt aber, wenn die beiden Pole durch einen eiſernen Anker verbunden ſind, wie auch leicht begreiflich, weit mehr als das doppelte von dem, was jeder einzelne Pol für ſich zu tragen im Stande iſt. Wenn alſo Häcker für die Tragkraft des einen Poles eines Magnetſtabes a halb ſo groß gefunden hat, als früher für die geſammte Tragkraft eines Hufeiſenmagneten, ſo müſſen wir wohl annehmen, daß dieſe Magnetſtäbe zu einer weit höheren Stufe magnetiſirt waren, als ſeine Hufeiſenmagnete, wofür auch die Bemerkung Häcker's ſpricht: »daß dieſe Tragkraft der Stäbe das äußerſte war, wozu dieſelben nur mit großer Mühe gebracht werden konnten.«

Bei der Berechnung der Schwingungsdauer wurde die Gleichung 2) mit dem Factor $c = 2{,}67$ angewandt, da aber die berechneten Werthe der Schwingungsdauer ſämmtlich größer ſind, als die beobachteten, ſo ergiebt ſich, daß die zuletzt beſprochenen Magnetſtäbe ſchon ſtärker magnetiſirt waren, als diejenigen, mit welchen die auf Seite 476 beſchriebenen Verſuche angeſtellt worden waren.

Mit dem letzten Stab der vorigen Tabelle machte Häcker Verſuche bei verſchiedenen Graden der Magnetiſirung. Folgendes ſind die zuſammengehörigen Werthe von M und T:

M	T	$M\,T^2$
344 Loth	16,55 Sec.	93256
264 »	19,10 »	95360
176 »	23,47 »	96976
136 »	26,45 »	95064
		Mittel 95164.

Die dritte Columne enthält das Product von M und T^2. Der Werth für dieſes Product iſt nahezu ſtets derſelbe, ſo daß ſich aus dieſen Verſuchen das Reſultat ergiebt, daß ſich die Tragkraft eines Poles eines Magnetſtabes umgekehrt verhält wie das Quadrat ſeiner Schwingungszeit.

Im Durchſchnitt haben wir $M\,T^2 = 95164$. Setzen wir nun für M und T ihre Werthe, aus Gleichung 1) und 2), ſo kommt

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^2}\,(\sqrt[3]{P}.\sqrt[6]{L})^2 = 95164$$

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^4}\,\sqrt[3]{L} = 95164$$

da aber für den fraglichen Stab $P = 81$ und $L = 17{,}5$, ſo iſt $\sqrt[3]{P^4} = 352$ und $\sqrt[3]{L} = 2{,}6$. Dividirt man auf beiden Seiten mit $352 . 2{,}6$ ſo kommt

$$a\,c^2 = 104.$$

Vermöge dieſer Relation zwiſchen den Factoren a und c kann man aus der Schwingungsdauer eines Magnetſtabes auf die Tragkraft eines Poles ſchließen. Für $c = 2{,}67$ ergiebt ſich $a = 16{,}97$; die auf Seite 476 beſprochenen Magnetſtäbe waren alſo in der That zu einer merklich geringeren Stufe magnetiſirt, als diejenigen, welche zu den auf Seite 477 angeführten Verſuchen dienten, und ſomit iſt auch gewiß, daß der Werth von a für die Tragkraft des einen Poles eines Häcker'ſchen Hufeiſenmagneten bedeutend kleiner iſt, als die Hälfte des Werthes von a, wenn es ſich um die geſammte Tragkraft eines ſolchen Magneten handelt.

Es wäre ſehr zu wünſchen, daß das Verhältniß zwiſchen der Tragkraft

eines Pols und der geſammten Tragkraft eines Hufeiſenmagneten genauer unterſucht würde.

Eine dritte Abhandlung Häcker's befindet ſich im LXXIV. Bande von Poggendorff's Annalen; da ſie jedoch nur magnetiſche Specialitäten behandelt, ſo darf hier wohl von einer näheren Beſprechung derſelben Umgang genommen werden; nur eine Bemerkung, welche Häcker am Schluß dieſer Abhandlung macht, muß ich noch anführen. Er hat nämlich gefunden, daß man auch dem ungehärteten Stahl einen bleibenden conſtanten Magnetismus ertheilen könne. Ein Magnetſtab, von ungehärtetem Stahl verfertigt, $7\frac{3}{4}$ Loth ſchwer und $16\frac{2}{3}$ Zoll lang, zeigte während eines Zeitraumes von 13 Monaten conſtant dieſelbe Schwingungsdauer von 11,93 Secunden. Von dieſem Mittel weichen die äußerſten der 8 zu verſchiedenen Zeiten gemachten Beſtimmungen nur um 0,05 Secunden ab. Ein aus gehärtetem Stahl verfertigter Magnetſtab von gleichen Dimenſionen würde nach den obigen Formeln (für $c = 2{,}67$) eine Schwingungsdauer von 8,5 Secunden gehabt haben.

Magnetiſirung von Stahlſtäben. Die von Elias angegebene 189
Methode (P. A. LXII. 249) mittelſt einer galvaniſchen Drahtſpirale Stahllamellen zu magnetiſiren, iſt bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Band, S. 210) beſchrieben worden. Böttger hat eine Abänderung dieſer Methode angegeben (P. A. LXVII. 112), welche darin beſteht, daß anſtatt einer Spirale, deren zwei angewendet werden, ſo daß die beiden Pole der zu magnetiſirenden Hufeiſenlamelle gleichzeitig in dieſe Spiralen eingeſchoben werden; außerdem aber wendet er Bandſpiralen ſtatt Drahtſpiralen an.

Elias beſtreitet (P. A. LXVII. 356), daß auf dieſem Wege mehr geleiſtet werde, als nach ſeiner Methode. Er führt an, daß er an einem von Häcker verfertigten Hufeiſenmagnet, welcher 0,657 Kilogramm (37,5 Loth) wog, und welcher, als er ihn von Häcker erhalten hatte, 8,25 trug, die Pole mittelſt ſeiner Spirale umgekehrt habe. Nach dieſer Umkehrung und nach 25maligem Abreißen des Ankers trug er 10 Kilogramm. Berechnet man nach der Gl. 1) auf S. 474 die Tragkraft dieſes Magneten, ſo findet man 14 Pfund; Elias hat alſo dem Magneten mit ſeiner Spirale allerdings eine noch ſtärkere Tragkraft ertheilt, als diejenige, welche Häcker als das Maximum bezeichnet.

Wie ſtark der Strom war, den Elias zu dieſer Magnetiſirung anwandte, iſt nicht angegeben.

Frick hat über die Elias'ſche Magnetiſirungsmethode kritiſche Verſuche angeſtellt und ſie mit dem Magnetiſiren durch einen Elektromagneten verglichen (P. A. LXXVII. 537). — Seine Magnetiſirungsſpirale war

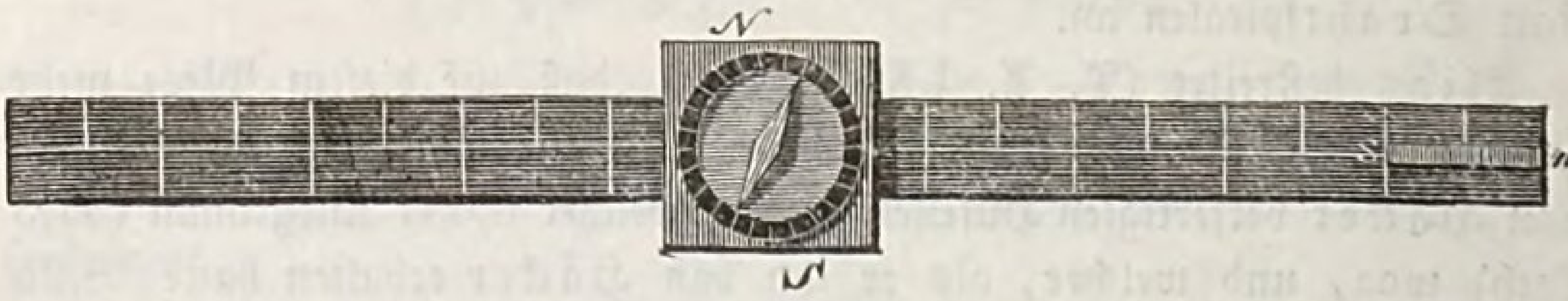
genau nach den Angaben von Elias conſtruirt, nur war die Oeffnung derſelben etwas größer. Mit einer vollkommen gleichen Drahtmenge (alſo 9 Meter Kupferdraht von 3^{mm} Dicke) conſtruirt er nun auch einen Elektromagneten, indem er denſelben in gehöriger Weiſe um den beiden Schenkel eines Hufeiſens wickelte, welches aus einem 0,62 Meter langen und 27^{mm} dicken Stab von weichem Eiſen gefertigt war.

Um mit dieſem Elektromagneten einen Stahlſtab zu magnetiſiren, wurde die eine Hälfte des Stabes mehrmals über den einen, die andere Hälfte eben ſo oft über den anderen Pol von der Mitte gegen das Ende hin gezogen.

In allen Fällen wurde mittelſt der Tangentenbuſſole die Stromſtärke beſtimmt, welche die Drahtwindungen durchlief; bei ſchwächeren Strömen war die Elias'ſche Spirale oder die Windungen der Elektromagneten gleichzeitig mit der Tangentenbuſſole eingeſchaltet, die natürlich in gehöriger Entfernung von der Stelle aufgeſtellt war, an welcher die Magnetiſirung vorgenommen wurde; wegen der durch dieſen Umſtand erforderlichen langen Verbindungsdrähte konnte man bei gleichzeitiger Einſchaltung der Spiralen und der Tangentenbuſſole keine ſehr ſtarke Ströme erhalten, deshalb wurde, wo ſolche angewendet werden ſollten, einmal die Spirale allein und dann die Tangentenbuſſole mit ſo viel Draht eingeſchaltet, daß der Widerſtand im Schließungsbogen derſelbe war, wie bei der Einſchaltung der Spirale.

Die Stärke des dem Stahlſtab ertheilten Magnetismus wurde dadurch beſtimmt, daß der Magnetſtab in der Fig. 159 angedeuteten Weiſe öſtlich

Fig. 159.



oder weſtlich von einer Buſſole gelegt wurde, und zwar ſo, daß der der Buſſole zugewendete Pol 0,6 Meter weit von der Mitte der Nadel war.

Betrachten wir zunächſt die Reſultate, welche mit zwei Stahlſtäben erhalten wurden, welche nahe gleich lang (ungefähr 3 Decimeter) waren und gleichen Querſchnitt hatten. Der eine *A* war glashart, der andere *B* bis zum verſchwindenden blau angelaſſen. — Die Stromſtärke iſt im Folgenden nach der auf S. 248 bezeichneten Einheit ausgedrückt. Die Verſuche wurden ſo angeſtellt, daß man jedesmal dieſelbe Stromſtärke durch die Elias'ſche Spirale gehen ließ und die damit hervorgebrachte Magnetiſirung des Stahlſtabs ermittelte, und dann ausfindig machte, wie ſtark

der Magnetiſmus iſt, den man dem Stahlſtab mit Hülfe des Elektromagneten ertheilen kann, wenn ein gleich ſtarker Strom ſeine Windungen durchläuft.

Die Stärke des Stabmagnetiſmus iſt ausgedrückt durch die Anzahl der Grade, um welche er die Buſſolennadel ablenkt.

Stromſtärke 98. Stab A.

Urſprünglicher Magnetiſmus	+ 13°
Zur Unterſuchung in der Spirale hin- und hergeführt, konnte keine Umkehrung erreicht werden, die Stärke des Magnetiſmus wurde nur heruntergebracht auf	+ 1,5
Die Spirale zur Wiederherſtellung des urſprünglichen Magnetiſmus angewandt, brachte ihn wieder auf	+ 9°
Der Elektromagnet kehrt ihn um bis auf	— 11°

Stromſtärke 98. Stab B.

Urſprünglicher Magnetiſmus	+ 15°
Durch die Spirale umgekehrt	— 1
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 17,5

Stromſtärke 160. Stab A.

Urſprünglicher Magnetiſmus	+ 10,5°
Durch die Spirale umgekehrt	— 5,5
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 13

Stromſtärke 160. Stab B.

Urſprünglicher Magnetiſmus	+ 11,5°
Durch die Spirale umgekehrt	— 13,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	+ 15

Stromſtärke 340. Stab A.

Magnetiſirung durch den Elektromagneten	+ 19°
Durch die Spirale umgekehrt	— 10
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 15

Stromſtärke 340. Stab B.

Magnetiſirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale	— 18
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Stromſtärke 430. Stab A.

Magnetiſirung durch den Elektromagneten	+ 19°
Umkehrung durch die Spirale	— 19
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 19

Stromſtärke 430. Stab B.

Magnetiſirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale	— 20
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Bei dieſem letzten Verſuche war der Strom ſo ſtark, daß die dicken Kupferdrähte ſo heiß wurden, daß zum Theil der Schellack in dem Seidenüberzuge ſchmolz, auch fühlte man beim Durchführen der Stäbe durch die Spirale einen ziemlich ſtarken Widerſtand.

Mit einigen anderen glasharten Stahlſtäben wurden ähnliche Reſultate erhalten.

Bei dem Magnetiſiren der Stahlſtäbe mittelſt der Spirale war das Verankern durch angelegte Stücke weichen Eiſens keineswegs verſäumt worden.

Aus dieſen Verſuchen geht nun hervor,

1) daß man, wo nicht ſehr ſtarke Ströme angewendet werden, bei gleicher Stromſtärke durch den Elektromagneten mehr erreicht, als durch die Spirale, und daß dieſer Unterſchied bei harten Stäben größer iſt, als bei angelaſſenen.

2) Daß es bei geringeren Stromſtärken nicht möglich iſt, den vorhandenen Magnetismus harter Stäbe durch die Spirale umzukehren, und daß ſelbſt bei ſtärkeren Strömen oder angelaſſenen Stäben, wo die Umkehrung mittelſt der Spirale möglich iſt, die umgekehrten Pole ſehr ſchwach bleiben, und ſelbſt beim Wiederumkehren nicht mehr die vorige Stärke erreichen, während das Streichen mit dem Elektromagneten viel leichter den Pol umzukehren vermag.

3) Daß aber der Unterſchied zwiſchen beiden Verfahrungsarten mit der Zunahme der Stromſtärke allmälig verſchwindet, die Sättigung durch den Elektromagneten aber ſchon bei geringerer Stromſtärke erreichbarer iſt, als durch die Spirale.

Es dürfte demnach vortheilhafter ſein, die gleiche Stromſtärke und gleiche Drahtmenge auf einen Elektromagneten zu verwenden, als auf eine Spirale, namentlich, wenn man harten Stahl magnetiſiren will.

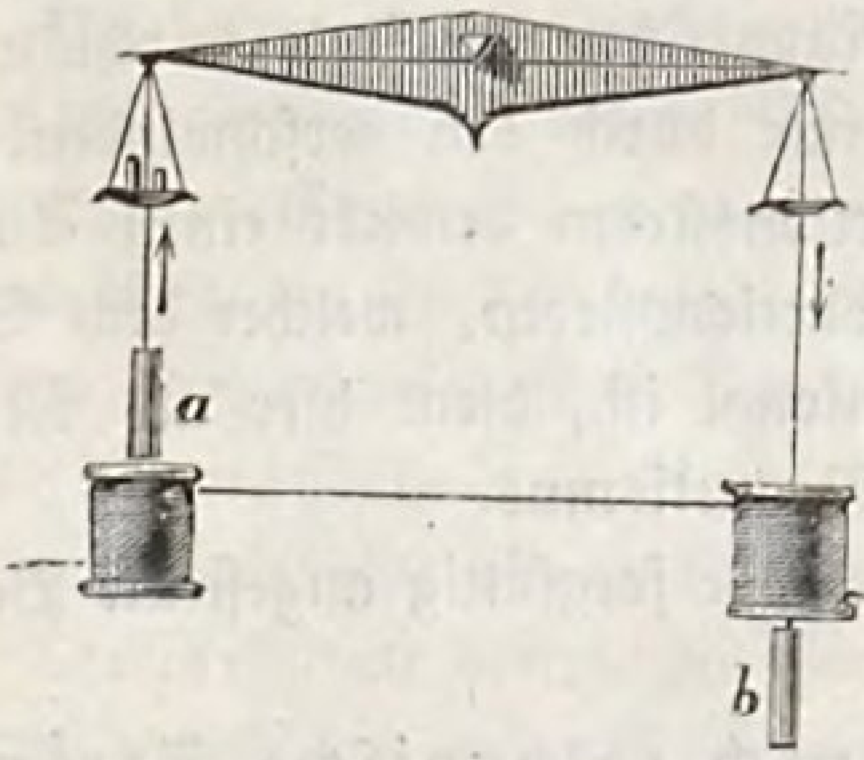
190 **Unterſuchungen über die Geſetze der Elektromagnete von Lenz und Jakobi.** Die genannten Petersburger Phyſiker ſtellten ihre Verſuche über die Geſetze der Elektromagnete zu einer Zeit an, in welcher die zu ſolchen Unterſuchungen erforderlichen Hülfsmitteln noch ſehr man-

gelhaft waren (die erſte hierher gehörige Abhandlung, aus dem Bull. scient. der Petersburger Akademie Thl. IV. entnommen, befindet ſich im XLVII. Bande von Poggendorff's Annal.), die Verſuche wurden im Anfange des Jahres 1838 angeſtellt, ſo daß ſie in der That große Hinderniſſe zu überwinden hatten. Vor allem war die Schwierigkeit, einen einigermaßen conſtanten Strom zu erhalten, ſtörend und durch ſie hauptſächlich iſt der Gang der Unterſuchung, wie wir ihn ſogleich werden kennen lernen, bedingt.

Als Elektromotor dienten 24 Zinkplatinelemente, welche nach Art der Wollaſton'ſchen Batterie conſtruirt waren, und auf verſchiedene Weiſe mit einander combinirt werden konnten.

Die Stromſtärke wurde durch eine Becquerel'ſche Wage gemeſſen, deren Einrichtung etwas modificirt worden war. Da dieſes Inſtrument jetzt wohl ſchwerlich noch zur Meſſung der Stromſtärke angewendet werden wird, ſo will ich ſeine Einrichtung nur ſo weit andeuten, als zum Verſtändniß der Lenz'ſchen Unterſuchung nothwendig iſt; Fig. 160 iſt eine ſchematiſche Darſtellung des Apparates. An den beiden Schalen einer guten Wage hängen von dünnen Drähten getragen die beiden Magnetſtäbe *a* und *b*, welche ganz gleich ſind, und beide den Nordpol nach Unten gerichtet haben. Zwei ganz gleiche, mit einander verbundene Drahtſpiralen ſind ſo angebracht, daß ſich die eine unter *a*, die andere über *b* befindet, und zwar ſo, daß die Höhlung der Spirale in der Verlängerung des Magnetſtabes liegt; man läßt nun den Strom in ſolcher Richtung durch die Spirale gehen, daß ſo wohl *a* als *b* abgeſtoßen werden, daß alſo der Wagebalken links gehoben und rechts geſenkt wird, wie es die Pfeile andeuten; durch Auflegen von Gewichten, welche dieſer Abſtoßung das Gleichgewicht halten, kann dann der Wagebalken in ſeiner horizontalen Stellung erhalten werden.

Fig. 160.



Um einen Strom von beſtimmter Stärke zu erhalten, verfuhren Lenz und Jakobi nun ſo, daß ein beſtimmtes Gewicht, z. B. 400 Gramm auf die Wagſchale gelegt, und dann die Plattenpaare tiefer und tiefer in ihre Tröge eingetaucht wurden, bis die Abſtoßung zwiſchen den Magneten und den Spiralen dieſen 400 Grammen das Gleichgewicht hielt. Das aufgelegte Gewicht iſt alsdann das Maß für die Stromſtärke. Um einen 2mal, 3mal ſo ſtarken Strom zu erhalten, werden 800, 1200 Grammen aufgelegt u. ſ. w.

Leider finden ſich in der citirten Abhandlung nicht Data genug vor, und die ſo gemeſſenen Stromſtärken auf unſere Einheit zu reduciren.

Zwanzig Fuß von der Wage entfernt ſtand die Magnetiſirungsſpirale, deren Enden mit den Enden der Spiralen der Wage leitend verbunden waren, ſo daß der Strom hinter einander die Magnetiſirungsſpirale und die beiden Spiralen der Wage durchlaufen mußte.

Der zu magnetiſirende Eiſencylinder war von zwei Drahtſpiralen umgeben, von denen eine in der andern ſteckte; man konnte nach Belieben die innere oder die äußere als Magnetiſirungsſpirale anwenden, während die andere, die wir die Inductionsſpirale nennen wollen, in folgender Weiſe diente, um die Stärke des im Eiſen erzeugten Magnetismus zu meſſen. 15 Fuß von dieſer Spirale war nämlich ein Multiplicator aufgeſtellt, deſſen Drahtenden mit den Drahtenden der Inductionsſpirale in leitende Verbindung geſetzt werden konnten. Sobald der Magnetiſirungsſtrom eine beſtimmte, an der Wage gemeſſene Stärke erreicht hatte, wurde die Verbindung zwiſchen Multiplicator und Inductionsſpirale hergeſtellt, und ſogleich der Strom, welcher die Magnetiſirungsſpirale durchläuft, unterbrochen. Der in der Inductionsſpirale durch den verſchwindenden Magnetismus des Eiſens erzeugte Inductionsſtrom bewirkt einen Ausſchlag der Multiplicatornadel. Dieſer Inductionsſtrom, welcher dem Sinus des halben Ausſchlagswinkels proportional iſt, dient hier als Maß für die Stärke des dem Eiſen ertheilten Magnetismus.

Durch eine große Reihe nach dieſer Methode ſorgfältig angeſtellte Verſuche haben Lenz und Jakobi ermittelt,

> daß der im weichen Eiſen durch galvaniſche Ströme hervorgerufene Magnetismus der Stromſtärke proportional ſei.

Wir werden weiter unten ſehen, daß dieſer Satz nur innerhalb gewiſſer Gränzen wahr iſt.

Die Geſetze, welche Lenz und Jakobi nun zunächſt entwickelten, ſind folgende:

Wenn um einen Cylinder von weichem Eiſen gleich ſtarke Ströme in gleich vielen Windungen herumgeführt werden, ſo iſt der erzeugte Magnetismus gleich ſtark, mag nun

1) der Draht, aus welchen die Windungen gebildet ſind, dick oder dünn ſein, und

2) mag die Weite der Windungen groß oder klein ſein.

Endlich ergab ſich noch:

> daß die Totalwirkung ſämmtlicher, einen Eiſenkern umgebenden Windungen gleich iſt der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen.

Dieſe Sätze ſind a priori ſchon ſo einleuchtend, daß ein näheres Eingehen in die Details der entſprechenden Verſuche hier wohl überflüſſig iſt.

In einer ſpäteren Abhandlung von Lenz und Jacobi (P. A. LXI. 254) finden wir für Elektromagnete das weitere Geſetz,

daß bei maſſiven Eiſencylindern von gleicher Länge und mehr als 1/3 Zoll Durchmeſſer, bei gleichen Spiralen und gleichen Stromſtärken, der Magnetiſmus dem Durchmeſſer der Cylinder proportional ſey.

Dieſes Geſetz iſt eben ſo wenig allgemein gültig, wie das von der Proportionalität zwiſchen Stromſtärke und Magnetiſmus. Bei dünneren Stäben hatten Lenz und Jakobi ſelbſt ſchon die Abweichung bemerkt, daher der beſchränkende Beiſatz.

Die wahren Beziehungen zwiſchen der Stromſtärke, den Durchmeſſer, den Cylinder und den in ihnen erzeugten Magnetiſmus werden wir weiter unten kennen lernen.

Anziehung der Elektromagnete. Vorausgeſetzt, daß der Magne- 191
tiſmus, welcher in einem Eiſenſtab erzeugt wird, der Stärke des Stromes proportional iſt, welcher ihn umkreiſt, läßt ſich erwarten, daß die Tragkraft von Elektromagneten dem Quadrate der magnetiſirenden Stromſtärke proportional ſey. Um dieſen Satz zu prüfen, ſtellte Jakobi und Lenz eine Reihe von Verſuchen an, bei denen jedoch zur Meſſung der Stromſtärke eine Nervander'ſche Tangentenbuſſole angewandt wurde.

Die Reſultate derjenigen Verſuche, welche mit geraden Eiſenſtäben und verhältnißmäßig geringen Stromſtärken angeſtellt wurden, ſtimmten ziemlich gut mit dieſer Erwartung überein (P. A. XLVII. 401), als aber die Petersburger Phyſiker zur Unterſuchung hufeiſenförmiger Elektromagnete übergingen, deren Schenkel mit 228 Windungen eines 3/4 Linien dicken Kupferdrahtes umwunden waren, und ſtärkere Ströme angewandt wurden, blieb die Tragkraft weit hinter der erwarteten zurück, wie man aus der folgenden Tabelle ſieht, welche die Reſultate einer der von Lenz und Jakobi angeſtellten Verſuchsreihen enthält.

α	$tang.\ \alpha$	g	g'
6° 28′	0,113	13,2	13,2
11 51	0,210	42,0	44,9
15 50	0,283	65,4	81,8
16 58	0,305	72,6	100,3
17 46	0,320	78,8	105,6
20 43	0,378	92,1	146,0

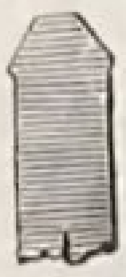
Die erſte Columne dieſer Tabelle enthält die an der Tagentenbuſſole abgeleſenen Ablenkungswinkel, die zweite Columne enthält die Tangenten dieſer Winkel; in der dritten Columne ſtehen die beobachteten Tragkräfte des hufeiſenförmigen Elektromagneten in Pfunden, in der letzten Columne endlich die Tragkraft, wie ſie ſeyn würde, wenn ſie dem Quadrat der Stromſtärke proportional gewachſen wäre. Man ſieht, daß die Zahlen der dritten Columne um ſo mehr hinter denen der vierten zurückbleiben, je mehr die Stromſtärke wächſt.

In dem folgenden Paragraphen wird gezeigt werden, daß das von Lenz und Jakobi aufgeſtellte Geſetz von der Proportionalität der Stromſtärke und der Magnetismus nicht allgemein wahr iſt und daß für ſtärkere Ströme und namentlich für dünnere Stäbe, der Magnetismus in einem weit langſamern Verhältniß wächſt als die Stromſtärke, und ſo erklärt ſich auch leicht, warum bei ſtärkeren Strömen die Tragkraft hufeiſenförmiger Elektromagnete ſo weit hinter den Erwartungen des Petersburger Phyſiker zurückblieb.

Es iſt ſehr zu bedauern, daß in der zuletzt beſprochenen Abhandlung keine Angaben zu finden ſind, durch welche eine Reduction der Stromſtärken auf chemiſches Maß möglich geworden wäre, denn dadurch hätten die mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angeſtellten Verſuchsreihen von Lenz und Jakobi über die Tragkraft der Elektromagnete eineu ungleich größeren Werth für die Wiſſenſchaft erhalten. Der Apparat, mit dem ſie ihre Meſſungen über die Tragkraft anſtellten, iſt in Pogg. Ann. Bd. LIV., S. 335 beſchrieben.

Im LII. Bande S. 303 von Poggendorff's Annalen veröffentlicht Pfaff eine Reihe von Verſuchen über die Tragkraft von Elektromagneten; da jedoch keine gleichzeitige Meſſung der Stromſtärke angeſtellt wurde, ſo laſſen ſich aus dieſen Verſuchen keine Geſetze ableiten. — Bei dieſen Verſuchen fand Pfaff, was man auch ſchon früher in Beziehung auf Stahlmagnete beobachtet hatte, daß für abgerundete Anker unter ſonſt gleichen Umſtänden die Tragkraft weit größer iſt als für ſolche, welche mit einer ebenen Fläche an den Magneten anſtoßen. Der Grund davon liegt höchſt wahrſcheinlich darin, daß ſich im letzteren Fall keine ſo innige Berührung herſtellen läßt.

Fig. 161.



Auch der Anker des oben S. 475 erwähnten Logemann'ſchen Magneten iſt nur mit einer ſchmalen Fläche mit dem Magnete in Berührung. Fig. 161 iſt ſein Querſchnitt. Die obere Berührungsfläche iſt nur 3^{mm} breit, während die unteren Flächen des Magneten 9^{mm} breit und 25^{mm} lang ſind.

Verſuche, welche Pfaff mit maſſiven und hohlen Elektromagneten anſtellte (P. A. LIII. 309), widerſprechen der Behauptung

von Jakobi (P. A. LI., 362), daß der Magnetismus eines Eiſenſtabes unter ſonſt gleichen Umſtänden nur ſeinem Durchmeſſer, alſo auch ſeinem Umfange, nicht ſeinem Querſchnitt proportional ſey, woraus er dann auch folgerte, daß hohle Stäbe verhältnißmäßig vortheilhafter ſeyen als maſſive. Zehn hohle Cylinder, deren äußerer Durchmeſſer gleich war, und von denen je zwei eine Wanddicke von $^{17}/_{18}$, $1^1/_7$, 2, $3^3/_8$ und $4^1/_2$ Linien hatten, wurden mit ganz gleichen Magnetiſirungsſpiralen verſehen, und dann immer je zwei gleiche ſo verbunden, daß ſie gewiſſermaßen ein Hufeiſen bildeten, deſſen Tragkraft geprüft wurde, es ergab ſich unter anderen

für 1	. .	7 Pfund
» 2	. .	17 »
» 3	. .	15 »
» 4	. .	20 »
» 5	. .	44 »

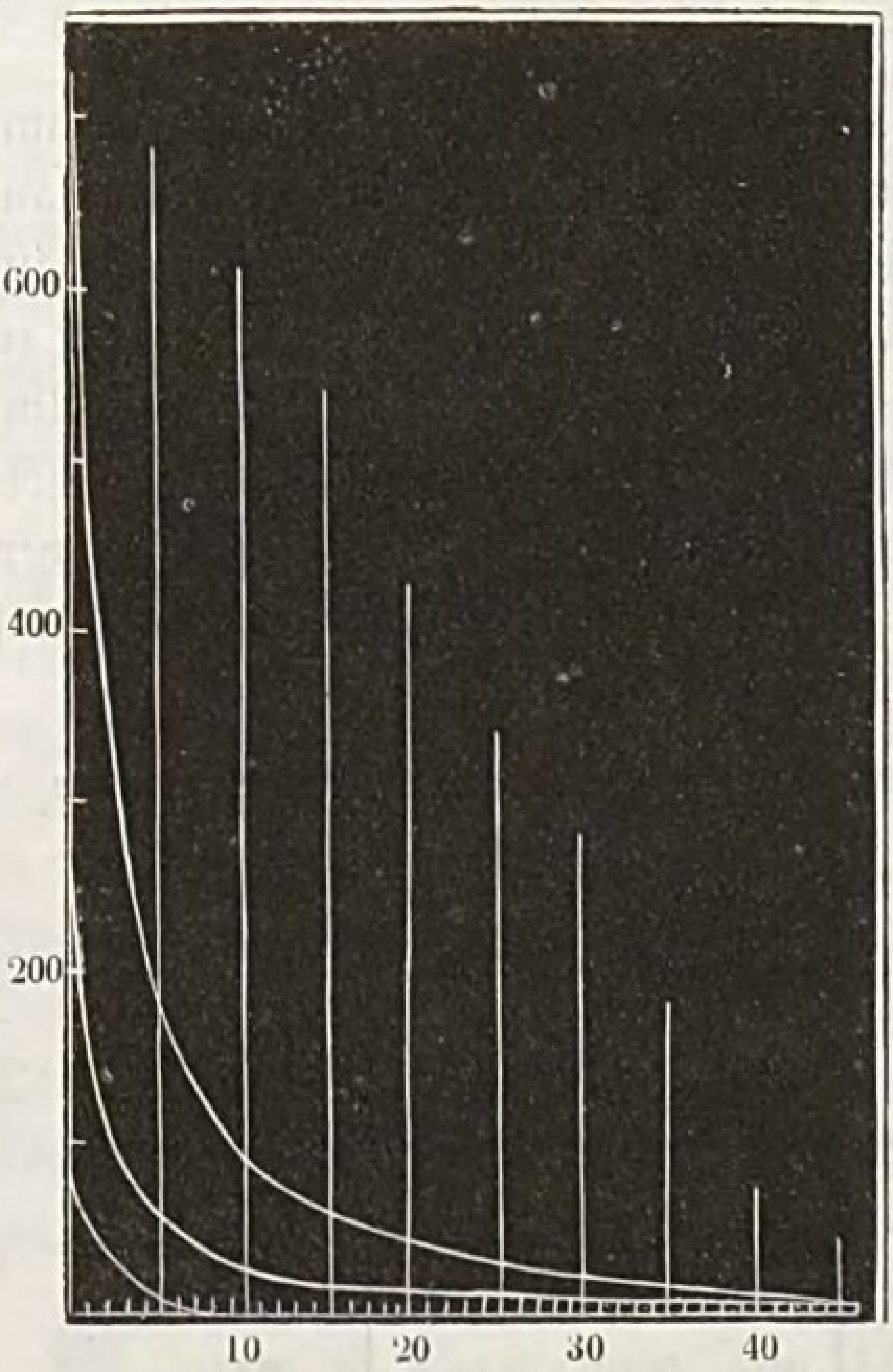
woraus ſich ergiebt, daß bei gleichem Durchmeſſer die Tragkraft doch ſehr von der Maſſe der Elektromagneten abhängt. Nro. 2 war wohl aus einer weicheren Eiſenſorte verfertigt.

Mit der Entfernung des Ankers von den Polen der Magnete nimmt die Tragkraft ſehr raſch ab; Kramer in Kiel hat darüber Verſuche angeſtellt (P. A. LII. 298). Um die anziehende Kraft in einer Reihe auf einander folgender, möglichſt gleichförmig wachſender Entfernungen zu prüfen, nahm er als Einheit derſelben die Dicke eines Blattes Velin-Poſtpapiers, wovon 46 eine engliſche Linie machen. Er ſchnitt von ſolchem Papier eine Anzahl Stücke und brachte dieſe nach und nach zwiſchen Pole und Anker. Die folgenden Tabellen ſind ein Auszug aus den auf dieſe Weiſe mit vier verſchiedenen Magneten erhaltenen Reſultate.

Magnet Nro. I.		Magnet Nro II.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	80 Loth	0	104 Loth
1 Papierdicke	32 »	1 Papierdicke	44 »
2 »	21 »	2 »	24 »
4 »	11 »	4 »	11 »
8 »	$4^1/_4$ »	8 »	$4^1/_2$ »
15 »	$1^1/_8$ »	15 »	2 »

Magnet Nro. III.		Magnet Nro. IV.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	224 Loth	0	680 Loth
1 Papierdicke	148 »	1 Papierdicke	475 »
2 »	108 »	2 »	355 »
4 »	64 »	4 »	215 »
8 »	36½ »	8 »	116 »
16 »	17¼ »	16 »	55½ »
46 »	6½ »	46 »	13½ »

Fig. 162.



In der Originalabhandlung finden ſich auch noch die Tragkräfte, welche für die Entfernungen 3, 5, 6, 7, 9 u. ſ. w. beobachtet wurden.

In Fig. 162 iſt das Reſultat für I., III. und IV. graphiſch dargeſtellt, und zwar in den Abſciſſenlinien 1^{mm} für eine Papierdicke, als Ordinate 1^{mm} für eine Tragkraft von 10 Lothen.

192 **Verſuche über den Einfluß des Ankers auf die Tragkraft.** Welch bedeutenden Einfluß Geſtalt und Gewicht des Ankers auf die Tragkraft von Magneten hat, iſt ſchon längſt bekannt, doch ſind darüber wenig vergleichende Verſuche angeſtellt worden. Im Jahr 1847 legte Barral der Pariſer Akademie eine Abhandlung über Elektromagnete vor, von welcher die comptes rendus (Bd. 25, S. 757) einen Auszug geben. Er unterſuchte den Einfluß, den das Gewicht des Ankers auf die Tragkraft der Elektromagnete hat; mit einem 7,8 Kilo-

gramm ſchweren Elektromagneten erhielt er bei gleicher Stromſtärke folgende Reſultate:

Gewicht des Ankers.		Tragkraft.
0,2 Kil.	. . .	33 Kil.
0,9 »	. . .	66 »
2,8 »	. . .	183 »
4,8 »	. . .	235 »
6,8 »	. . .	267 »
9,2 »	. . .	295 »
15,0 »	. . .	235 »

Die Tragkraft des Elektromagneten wäre demnach ein Maximum, wenn das Gewicht des Ankers dem des Elektromagneten nahe zu gleich iſt.

Dies Geſetz kann aber unmöglich eine allgemeine Geltung haben, da, wie wir ſogleich ſehen werden, bei gleicher Maſſe des Ankers die Tragkraft der Elektromagnete noch durch die Geſtalt des Ankers bedingt wird. Welche Geſtalt und welche Dimenſionen die Barral'ſchen Anker hatten, iſt in erwähntem Auszuge nicht angegeben, er würde aber gewiß ganz andere Reſultate erhalten haben, wenn er die vergrößerte Maſſe des Ankers in anderer Form zur Anwendung gebracht hätte.

Ueber die Tragkraft, welche der eine Pol eines geradlinigen Elektromagneten beſitzt und wie dieſelbe von der Maſſe und der Geſtalt des Ankers abhängt, hat Dub eine umfangreiche Unterſuchung angeſtellt (P. A. LXXIV. 465).

Die Anordnung ſeiner Verſuche war im Weſentlichen folgende: Der mit der Magnetiſirungsſpirale umgebene cylindriſche Eiſenſtab war vertical geſtellt und gehörig befeſtigt; auf dem oberen Pol wurde der gleichfalls cylindriſche Anker aufgeſetzt, welcher durch einen genau conſtruirten Hebelapparat abgeriſſen wurde. Die Pole des Elektromagneten und der Anker waren möglichſt eben abgeſchliffen. Der Strom, welcher durch die Spirale ging, wurde durch eine Tangentenbuſſole gemeſſen.

Zunächſt unterſuchte Dub 10 Anker von gleichem Gewicht ($29^1/_4$ Loth) aber verſchiedener Länge und alſo auch verſchiedenem Durchmeſſer. Der Elektromagnet war 12 Zoll lang und hatte 1 Zoll Durchmeſſer. Die Dimenſionen der Anker waren folgende:

Anker.	d	l	Anker.	d	l
Nr. 1	2″	1″	Nr. 6	7/8″	5 1/4″
» 2	1 1/2	1 1/5	» 7	3/4	7 1/9
» 3	1 2/5	2	» 8	11/16	8 1/2
» 4	1 1/5	3	» 9	9/16	12 2/3
» 5	1	4	» 10	1/2	16

unter *d* ſtehen die Durchmeſſer, unter *l* die Längen. **Mit dieſen Ankern machte Dub Verſuche bei zwei verſchiedenen Stromſtärken. Es ergab ſich Folgendes:**

Anker.	Stromſtärke = 25°	Stromſtärke = 45°
1	1,8 Pfund	6,24 Pfund
2	1,7 »	5,4 »
3	2,1 »	5,2 »
4	2,7 »	6,57 »
5	3,35 »	8,13 »
6	4,5 »	10,71 »
7	6,2 »	15,5 »
8	7,4 »	19,15 »
9	9,7 »	27,9 »
10	10,3 »	25,58 »

Wir ſehen aus dieſer Tabelle, daß bei gleichem Gewicht des Ankers ſeine Tragkraft ſehr weſentlich von ſeinen Dimenſionen abhängt. Im Allgemeinen wächſt bei gleichem Gewicht die Tragkraft mit der Länge.

Nun ſtellte Dub Verſuche an mit Ankern von gleichem Durchmeſſer und verſchiedener Länge (alſo auch verſchiedenem Gewicht).

Mit einem Elektromagneten von 1 Zoll Durchmeſſer und 12 Zoll Länge erhielt er folgende Reſultate, als der Durchmeſſer des Ankers dem des Elektromagneten gleich war.

Länge der Anker	Stromſtärke			
	20⁰	25⁰	31⁰	35⁰
2″	1,2 Pfd.	1,7 Pfd.	2,4 Pfd.	2,9 Pfd.
3	1,7 »	2,4 »	3,6 »	4,5 »
4	2,4 »	3,3 »	4,8 »	6,1 »
5	3,0 »	4,0 »	6 2 »	7,3 »
6	3,3 »	4,6 »	6,8 »	8,9 »
9	4,4 »	6,8 »	11,2 »	13,8 »
15	4,9 »	8,4 »	12,9 »	16,4 »
18	5,2 »	10,2 »	13,6 »	18,8 »
21	6,3 »	12,0 »	16,0 »	22 »
24	5,9 »	9,5 »	13,4 »	17,5 »

Mit demſelben Elektromagneten, aber mit Ankern von $^5/_{16}$ Zoll Durchmeſſer ergaben ſich folgende Reſultate.

Länge der Anker	Stromſtärke			
	20⁰	25⁰	31⁰	35⁰
2″	1,7 Pfd.	2,6 Pfd.	3,6 Pfd.	4,4 Pfd.
3	2,9 »	3,7 »	5,4 »	6,2 »
4	3,4 »	4,7 »	7,2 »	7,7 »
5	3,9 »	5,4 »	7,8 »	8,0 »
9	6,0 »	7,3 »	9,4 »	10,1 »
12	6,5 »	8,7 »	9,8 »	10,8 »
18	6,3 »	8,7 »	9,5 »	10,5 »
24	6,3 »	8,0 »	9,4 »	10,5 »

Im Allgemeinen wächſt alſo die Tragkraft mit der Länge der Anker, jedoch nur bis zu einem beſtimmten Maximum. Bei den Zoll dicken Ankern erreicht die Tragkraft für die Länge von 21″ das Maximum; mit Vergrößerung der Länge findet wenigſtens keine Ver-

mehrung der Tragkraft mehr ſtatt. Bei geringerem Durchmeſſer des Ankers findet das Maximum der Tragkraft ſchon bei geringerer Länge ſtatt; für 5/16 Zoll Durchmeſſer bei 12 Zoll Länge; für 3/16 Zoll Länge fand es Dub bei 9 Länge. Für ſtärkere Ströme und dünnere Anker beginnt die Annäherung zu dem Maximum ſchon früher.

Den Einfluß der Dicke des Ankers können wir zum Theil ſchon aus den zuletzt angeführten Tabellen erkennen. Wir ſehen, daß bei gleicher Stromſtärke und gleicher Ankerlänge der dünnere Magnet oft mehr trägt als der dickere; eine in dieſer Beziehung beſonders angeſtellte Verſuchsreihe, wozu ein Elektromagnet von 12″ Zoll Länge und 1″ Durchmeſſer gebraucht wurde, gab folgende Reſultate.

Ankerlänge 2″.

Stromſtärke.	Durchmeſſer der Anker.								
	1″	11/16″	9/16″	8/16″	6/16″	5/16″	3/16″	2/16″	1/16″
20°	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1	0,4
25	1,7	1,8	2,0	2,1	2,4	2,6	2,2	2,1	0,4
31	2,4	2,7	3,0	3,1	3,4	3,6	3,1	2,1	0,4
35	3,0	3,0	3,5	3,8	4,1	4,4	3,3	2,0	0,4
39	3,6	4,1	4,4	4,5	5,5	5,5	3,8	2,9	0,5
42	4,7	5,2	5,8	6,3	7,2	6,9	3,9	2,7	0,5

Ankerlänge 6″.

Stromſtärke.	Durchmeſſer der Anker.								
	1″	12/16″	11/16″	9/16″	8/16″	6/16″	5/16″	3/16″	2/16″
20°	3,3	3,9	4,2	4,4	4,8	5,1	4,9	2,7	2,2
25	4,8	5,5	6,2	6,4	7,1	7,3	6,1	3,4	2,2
31	6,8	8,1	9,1	9,7	10,4	10,0	8,2	3,8	2,4
35	8,9	10,3	11,2	11,7	12,5	11,9	9,2	4,1	2,7
39	9,9	12,9	13,9	15,2	16,2	14.9	9,8	3,9	2,8
45	13,3	16,2	18,5	21,3	20	17,2	10,1	3,8	2,8

Ankerlänge 12″.

Stromſtärke.	Durmeſſer der Anker.						
	$^{12}/_{16}$″	$^{10}/_{16}$″	$^{8}/_{16}$″	$^{6}/_{16}$″	$^{5}/_{16}$″	$^{3}/_{16}$″	$^{2}/_{16}$″
20°	4,7	5,8	6,8	7,2	6,5	3,3	2,0
25	8,6	9,3	10,8	10,3	8,5	3,7	2,5
31	12,0	14,8	16,1	13,8	9,8	4,3	2,6
35	18,3	19,2	19,6	15,6	10,8	4,4	2,8
39	19,7	22,8	24,8	17,0	10,8	4,5	2,6
45	28,9	33,4	27,5	18,6	11,7	4,8	2,9

Wir ſehen hier das merkwürdige Reſultat, daß die Tragkraft mit dem Dünnerwerden des Ankers bis zu einer beſtimmten Gränze wächſt, das Maximum der Tragkraft rückt aber den dickeren Ankern um ſo mehr zu, je länger ſie ſind und je größer die Stromſtärke iſt. Unter den 2″ langen Ankern z. B. zeigt bei 20° der von $^{5}/_{16}$″ Durchmeſſer das Maximum der Tragkraft, welches ſich für 45° bei $^{6}/_{16}$″ Durchmeſſer findet. Unter den Ankern, welche 12″ lang ſind, zeigt bei 20° der $^{6}/_{16}$ Zoll Dicke, bei 45° der $^{10}/_{16}$ Zoll Dicke die größte Tragkraft.

Eben ſo zeigen die Verſuche Dub's, daß, wenn die Anker dicker ſind als die Elektromagnete, die Tragkraft bis zu einer gewiſſen Gränze zunimmt, wenn der Durchmeſſer der Elektromagnete verkleinert wird.

In beiden Fällen bewirkt aber die Verkleinerung der Durchmeſſer nur deshalb eine Vermehrung der Tragkraft, weil ſie mit einer Verkleinerung der Berührungsfläche verbunden iſt. Es geht dies deutlich aus den Verſuchen Dub's hervor, zu welchen er coniſch zugeſpitzte Anker anwandte, um bei größerem Durchmeſſer eine kleinere Berührungsfläche zu erzielen.

So erhielt er z. B. mit einem Elektromagnet von 1 Zoll Durchmeſſer und 12 Zoll Länge mit verſchiedenen 6 Zoll langen Ankern folgende Reſultate:

Anker Nro. I. 1 Zoll Durchmeſſer, oben coniſch verjüngt, ſo daß die Berührungsfläche ½ Zoll Durchmeſſer hatte . . . 7 Pfund
Anker Nro. II. ganz cylindriſcher Anker von 1 Zoll Durchmeſſer . . . . 3,3 »
Anker Nro. III. ganz cylindriſch ½ Zoll Durchmeſſer . 4,8 »

Der halbzöllige cylindriſche Magnet hat alſo nur deshalb eine größere Tragkraft, als der einzöllige, weil die Berührungsfläche kleiner iſt, wenn

man den einzölligen oben ſo vergüngt, daß die obere Fläche ebenfalls ein ½ Zoll Durchmeſſer hat, ſo trägt er jetzt bedeutend mehr als der halbzöllige. Bei gleich großer Berührungsfläche zieht der Anker am meiſten, welcher die größte Maſſe hat.

Wie es kommt, daß der kleineren Berührungsfläche die größere Tragkraft zukommt, iſt noch nicht gehörig ermittelt. Jedenfalls kann man bei größeren Berührungsflächen keine ſo innige Berührung, kein ſo genaues Anſchließen hervorbringen, während außerdem noch bei dickeren Ankern weit eher ein Abbrechen des Ankers ſtattfinden kann als bei kleineren.

Leider hat Dub nach dieſer Seite ſeine Verſuche nicht ausgedehnt, er hat nicht unterſucht, wie es ſich verhält, wenn man die Berührungsfläche bis zur Kante oder bis zum Punkt verkleinert.

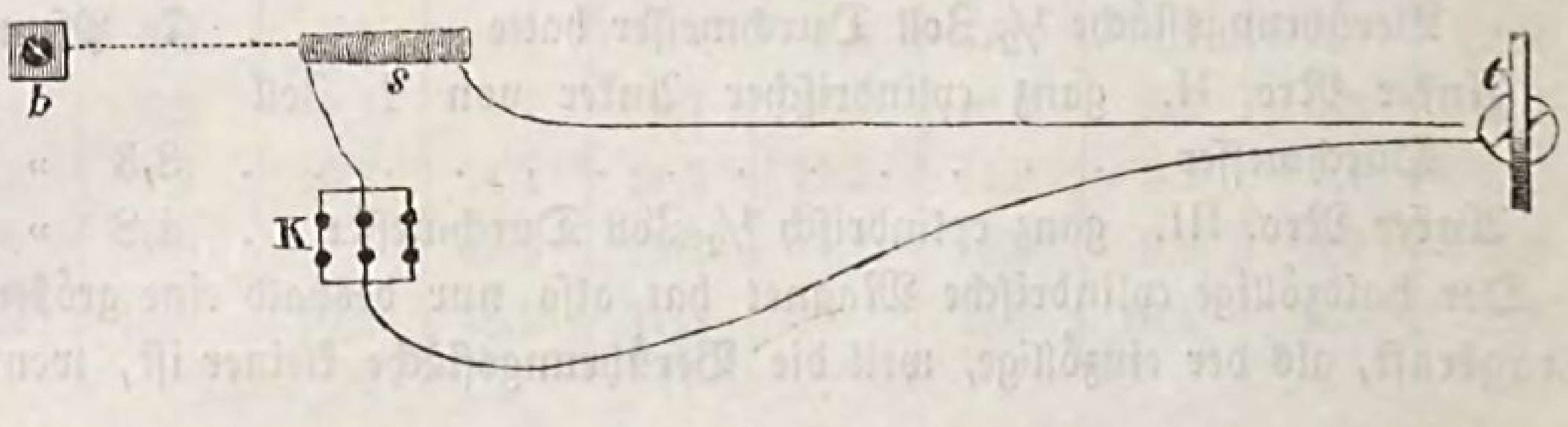
Jedenfalls iſt die Tragkraft eine Function der Länge des Ankers, ſeines Durchmeſſers und der Größe der Berührungsfläche. Die Natur dieſer Function, alſo wie die Tragkraft von dieſen drei Elementen abhängt, iſt bis jetzt noch nicht genügend ermittelt.

193 **Neuere Verſuche über die Geſetze des Elektromagnetismus.** Wenn der Magnetismus eines Eiſenſtabes der Stärke des um ihn herumgeführten Stromes ſtets proportional wäre, ſo müßte er ſelbſt im dünnſten Stab ins Unendliche wachſen können, was aus mannigfachen Gründen höchſt unwahrſcheinlich iſt. In Stahlſtäben kann der Magnetismus nicht über eine gewiſſe Gränze hinaus gebracht werden; ſollte es nicht auch für Eiſenſtäbe eine Gränze geben, der ſich der Stabmagnetismus bei wachſender Stromſtärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch dieſelbe je zu erreichen? Schon lange ging ich mit dem Plan um, dieſen Gegenſtand auf experimentellem Wege weiter zu verfolgen, aber erſt im vorigen Herbſt kam ich zur Ausführung.

In den Uebungsſtunden unſeres mathematiſch-naturwiſſenſchaftlichen Seminars unternahm es nämlich Hr. C. Gartenhauſer nach meiner Anleitung eine hierher gehörige Reihe von Verſuchen auszuführen, deren Reſultate meine Erwartungen vollkommen beſtätigte.

Die Anordnung der Verſuche überſieht man aus Fig. 163. Der Strom wurde durch ſechs Bunſen'ſche Becher erzeugt, von denen je drei

Fig. 163.



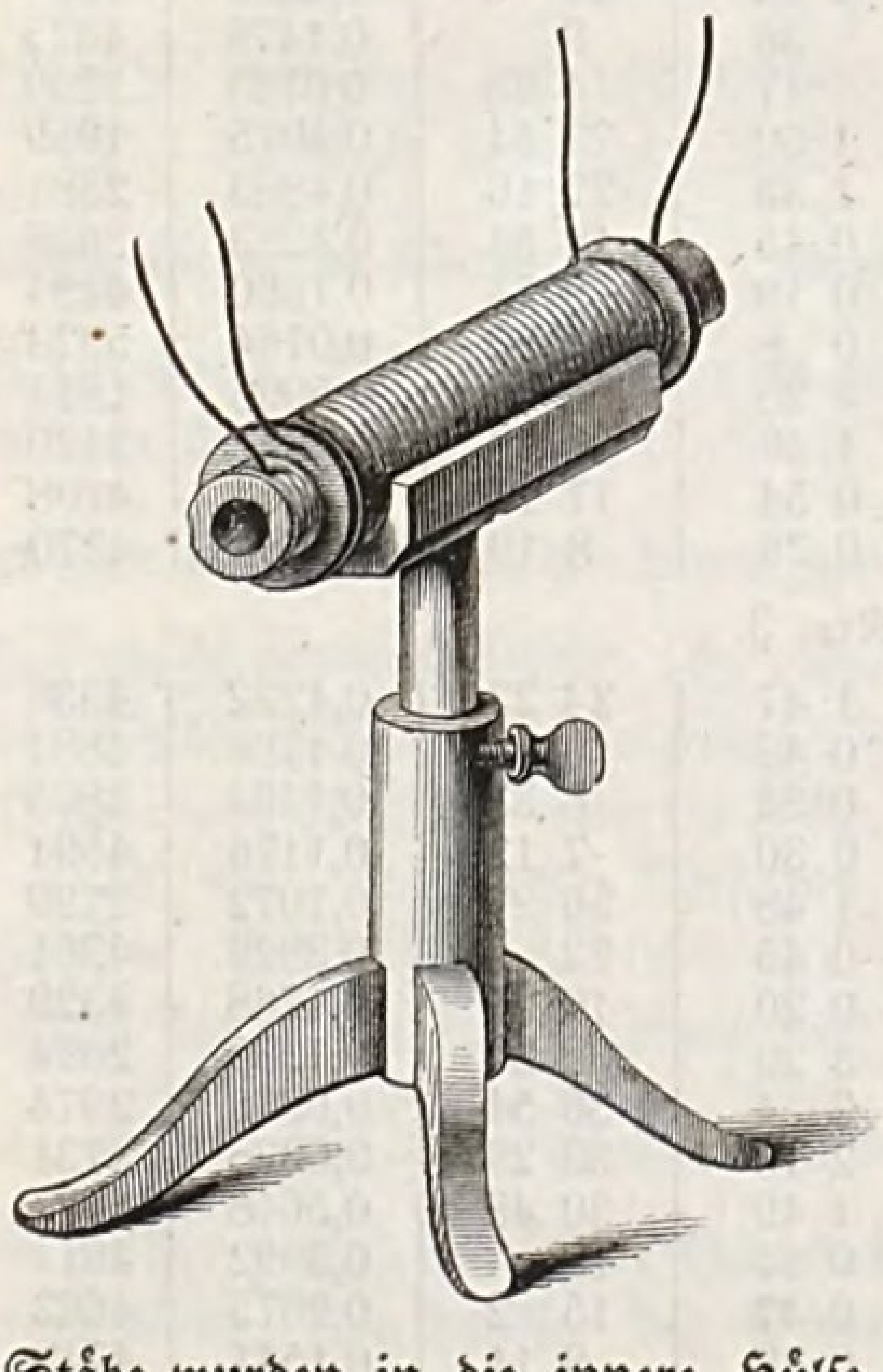
zu einem Elemente combinirt waren, ſo daß man eine Säule von zwei großen Elementen hatte, er ging durch die Magnetiſirungsſpirale *s* und durch die Tangentenbuſſole *t*, welche ſo weit abſtand (50 Fuß), daß der Magnetismus der in *s* eingeſchobenen Eiſenſtäbe keinen merklichen Einfluß auf die Nadel in *t* ausüben konnte.

Als Einheit der Stromſtärke wurde ein Strom genommen, der in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas von 0^0 und 760^{mm} Spannkraft liefert. Um die Angaben der Tangentenbuſſole auf dieſe Einheit zu reduciren, muß die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt werden (S. 250).

Die Magnetiſirungsſpirale ſtand rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian; zur Meſſung des Magnetismus der in *s* eingeſchobenen Eiſenſtäbe diente eine 88 Centimeter öſtlich von ihm aufgeſtellte Buſſole *b*.

Die Einrichtung in Aufſtellung der Magnetiſirungsſpirale iſt aus Fig. 164 zu erſehen. Zwei Drahtrollen waren in einander geſteckt, von denen jede aus drei Drahtlagen beſtand; die innere war 532^{mm} lang, mit grüner Seide überſponnen und ſoll deshalb mit *g* bezeichnet werden; ſie beſtand aus 408 Windungen eines $3{,}1^{mm}$ dicken Kupferdrahtes; die äußere, 482^{mm} lange, violett überſponnene und deshalb mit *v* bezeichnete, beſtand aus 372 Windungen eines $2{,}7^{mm}$ dicken Kupferdrahtes.

Fig. 164.



Die zu den Verſuchen angewandten Stäbe waren von gewalztem Eiſen und nicht weiter abgedreht; ihre Länge war 560^{mm}, ſo daß ſie noch etwas auf jeder Seite aus der Spirale herausragten; der Stab Nro. 1 war 9^{mm} dick; Nro. 2 — 12^{mm}; Nro. 3 — 15^{mm}; Nro. 4 endlich 44^{mm}. Die drei dünneren Stäbe wurden in die innere Hülſe eingeſchoben; um den dickſten in *v* einzuſchieben, mußte erſt *g* herausgenommen werden.

Die Beobachtungsreſultate unſerer Verſuche ſind in der folgenden Tabelle zuſammengeſtellt.

	c.	*a.*	*s.*	*p.*	*u'.*	*u.*	*m.*	$\frac{m}{p}$.
				Stab Nro. 1.				
5	*v*	32°,2	44,076	16397	2°48'	18°	0,2760	1683
6	*v*	28,2	37,534	13963	2 27	17 33'	0,2735	1959
9	*v*	15,4	19,278	7110	1 20	13 41	0,2202	3097
14	*v*	3,2	3,913	1456	16	3 41	0,2597	4100
4	*g*	34,4	47,929	19555	1 30	16 44	0,2744	1403
8	*g*	15,5	19,411	7921	39	13 46	0,2337	2937
2	*g*	41,6	62,146	25356	1 49	17 33	0,2845	1122
11	*g*	7,0	8,596	3507	18	8 6	0,1371	3909
13	*g*	3,2	3,913	1596	8	3 49	0,0644	4004
1	*v+g*	27,0	35,665	27819	3 31	19 8	0,2864	1027
3	*v+g*	23,5	30,436	23740	3 4	18 40	0,2842	1197
7	*v+g*	13,6	19,933	13288	1 2	16 18	0,2627	1967
10	*v+g*	7,0	8,596	6705	54	12 36	0,2078	3090
12	*v+g*	3,2	3,913	3052	24	7 12	0,1193	3909
				Stab Nro. 2.				
4	*v*	32,2	44,079	16397	2 48	27	0,4606	2808
6	*v*	27,5	36,442	13556	2 24	26 6	0,4325	3309
11	*v*	7	8,596	3198	36	9	0,1479	4625
13	*v*	3,3	3,731	1388	17	4 25	0,0723	5209
2	*g*	42,2	63,469	25895	1 50	27 54	0,4975	1959
3	*g*	35,6	50,113	20546	1 33	27 16	0,4883	2381
7	*g*	17,5	22,064	9001	0 45	18 54	0,3293	3658
9	*g*	7,5	9,212	3758	0 19	9 54	0,1690	4494
12	*g*	3,4	3,752	1531	0 8	4 30	0,0764	5223
1	*v+g*	26,6	28,039	27638	3 28	29 42	0,5098	1844
5	*v+g*	14,0	17,451	13612	1 49	24 32	0,4247	3120
8	*v+g*	7,0	8,596	6705	0 54	17 17	0,2954	4108
10	*v+g*	3,4	4,158	3243	0 26	8 19	0,1386	4270
				Stab Nro. 3.				
6	*v*	20,5	26,173	9736	1 47	24 23	0,4222	4336
11	*v*	8	9,835	3659	0 42	10 48	0,1786	4881
13	*v*	6,4	7,854	2922	0 34	8 33	0,1404	4805
14	*v*	5,7	6,886	2506	0 30	7 12	0,1176	4591
2	*g*	41,5	61,929	25267	1 48	36 27	0,7072	2799
7	*g*	17,5	22,064	9001	0 45	22 5	0,3926	4361
10	*g*	7,8	9,590	3903	0 20	10 21	0,1768	4529
1	*v+g*	26,5	34,902	27223	3 26	38 26	0,7335	2694
3	*v+g*	23,6	30,583	23855	3 4	36 54	0,6975	2974
4	*v+g*	17	21,399	16691	2 13	33 29	0,6228	3731
5	*v+g*	14	17,451	13618	1 49	30 49	0,5648	4147
8	*v+g*	7	8,596	6705	0 54	18	0,3092	4611
9	*v+g*	6	7,357	5738	0 47	15 2	0,2675	4662
12	*v+g*	3,4	4,158	3243	0 26	9 11	0,1541	4748
				Stab Nro. 4.				
1	*v*	33,1	45,633	16975	2 52	54 43	0,3631	8041
2	*v*	20,2	25,753	9580	1 45	39 22	0,7898	8244
3	*v*	18,8	19,810	7369	1 22	31 44	0,5946	8069
4	*v*	12,0	14,832	5536	1 2	25 44	0,4640	8381
5	*v*	7,4	9,093	3383	0 38	15 38	0,2730	8129
6	*v*	6,5	7,973	2946	0 34	14 30	0,2487	8102

Die mit c überſchriebene Columne giebt die Combination der Drahtſpiralen an; v bezeichnet die violette Spirale allein; g die grüne allein; $v + g$ die beiden Spiralen ſo combinirt, daß der Strom erſt die eine, dann die andere durchläuft. Die mit a überſchriebene Columne enthält die an der Tangentenbuſſole abgeleſene Ablenkung; die mit s überſchriebene enthält die entſprechende Stromſtärke, welche man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt. Die magnetiſirendende Kraft p, welche in der folgenden Columne ſteht, iſt durch Multiplication der Stromſtärke mit der Anzahl der von dem Strom durchlaufenen Windungen erhalten worden. Die mit u' überſchriebene Columne giebt die Ablenkung an, welche die Spirale für ſich allein an der Buſſole b Fig. 163 hervorbringt, während man unter u die von dem magnetiſirten Eiſenſtab und der Spirale zugleich hervorgebrachte Ablenkung dieſer Buſſole findet. $tang. u - tang. u'$ giebt das Maaß für den Stabmagnetiſmus, wie man ihn in der mit m überſchriebenen Columne findet. Die letzte Columne endlich enthält die Werthe des Quotienten $\frac{m}{p}$, und zwar, um die vielen Decimalſtellen zu vermeiden, mit 100000000 multiplicirt.

Wäre das Geſetz von Lenz allgemein wahr, ſo müßte für einen und denſelben Stab der Werth von $\frac{m}{p}$, conſtant bleiben; die Unterſchiede ſind aber ſo bedeutend, daß an eine Proportionalität des Stabmagnetiſmus und der Stromſtärke nicht mehr zu denken iſt. Im Allgemeinen ſieht man, daß für größere Werthe von p der Werth von $\frac{m}{p}$ kleiner ausfällt, daß für größere magnetiſirende Kräfte, alſo caeteris paribus für größere Stromſtärke, der Stabmagnetiſmus weit geringer ausfällt, als man nach dem Geſetz der Proportionalität hätte erwarten ſollen.

Nach vielen vergeblichen Verſuchen iſt es mir gelungen eine Formel aufzufinden, welche ſämmtliche Verſuchsreſultate umfaßt, die ſich in obiger Tabelle verzeichnet finden; dieſe Formel iſt

$$p = 220\, d^{3/2}\ tang. \frac{m}{0{,}00005\, d^2} \quad . \ . \ . \ . \quad (1)$$

in welcher p und m dieſelbe Bedeutung haben, wie in obiger Tabelle, während d den Durchmeſſer des Stabes bezeichnet. Aus dieſer Gleichung folgt:

1) Für $p = \infty$ iſt $\frac{m}{0{,}00005\, d^2} = 90^0$ alſo $m = 90 . 0{,}00005\, d^2$; für eine unendliche Stromſtärke würde demnach der Stabmagnetiſmus doch nur einen endlichen Werth erhalten, es giebt alſo für jeden Eiſenſtab ein abſolutes Maximum des Magnetiſmus, und die-

ſes magnetiſche Maximum iſt dem Quadrate des Durchmeſſers, alſo dem Querſchnitt des Stabes, proportional.

2) Wenn der Magnetismus verſchiedener Stäbe denſelben Theil ihres abſoluten magnetiſchen Maximums erreichen ſoll, ſo muß man für alle den Werth von $\frac{m}{0,00005 d^2}$ gleich ſetzen; alsdann aber verhalten ſich die entſprechenden Werthe von p wie $d^{3/2}$; d. h. um in verſchieden dicken Eiſenſtäben denſelben aliquoten Theil ihres magnetiſchen Maximums zu erzeugen, muß man Ströme anwenden, die ſich verhalten wie die Quadratwurzel aus der dritten Potenz der Halbmeſſer. Wenn alſo z. B. eine beſtimmte Stromſtärke f in einem Eiſenſtab einen Magnetismus erzeugt, welcher die Hälfte des abſoluten magnetiſchen Maximums beträgt, ſo wird man, um in einem zweimal dickeren Stabe gleichfalls $1/2$ des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erreichen, caeteris paribus einen $\sqrt{2^3}$ alſo einen 2,83mal ſtärkeren Strom nöthig haben.

3) So lange $tang. \frac{m}{0,00005\, d^2}$ nur einen kleinen Winkelwerth hat, ſind p und m ziemlich nahe proportional und man kann ohne merklichen Fehler

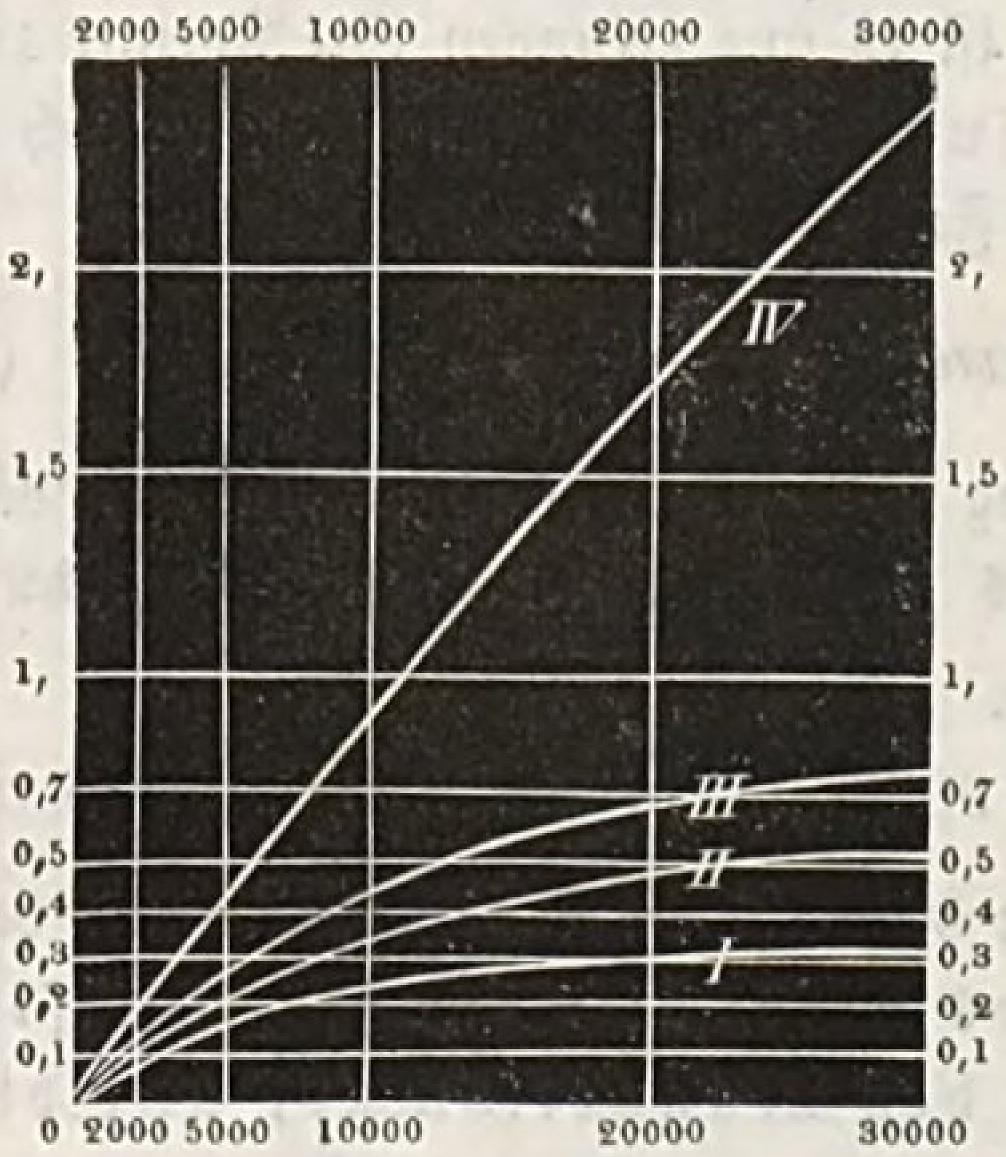
$$p = a \,.\, 220\, d^{3/2} \frac{m}{d^2}$$

ſetzen, wo a einen leicht zu ermittelnden conſtanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt ſich aber

$$m = \frac{p . \sqrt{d}}{a . 220},$$

ſo weit man alſo den Stabmagnetismus der Stromſtärke proportional ſetzen kann, iſt der durch gleiche Ströme in verſchiedenen Eiſenſtäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmeſſer proportional.

Fig. 165.



Um das Verhältniß anſchaulicher zu machen, nach welchem der Stabmagnetismus wächſt, wenn die Stromſtärke zunimmt, iſt es nach der Gleichung (1) in Fig. 165 für unſere vier Stäbe graphiſch dargeſtellt; die Abſciſſen ſind der magnetiſirenden Kraft, die Ordinaten ſind dem Stabmagnetismus proportional aufgetragen. Die unterſte Curve entſpricht dem dünnſten, die oberſte dem dickſten Eiſenſtab. Vergleicht

man dieſe Figur mit den Zahlen der obigen Tabelle, ſo iſt wohl keine weitere Erläuterung zu ihrem Verſtändniß nöthig.

Wäre das Lenz'ſche Geſetz allgemein gültig, ſo müßten dieſe vier Curven gerade Linien ſeyn, was nur bei der Curve Nr. IV annähernd der Fall iſt. Der Anblick der Fig. 165 ſchon zeigt uns, daß wir mit den Stromſtärken, mit denen wir operirten, für den dünnſten Stab dem abſoluten magnetiſchen Maximum ſchon ſehr nahe gekommen ſind, indem die Curve I. auf ihrer rechten Seite ſchon einen faſt horizontalen Lauf hat.

Die Abweichung unſerer Curven von einer geraden Linie iſt der Art, daß man ſie unmöglich auf Rechnung von Beobachtungsfehlern ſchreiben kann; wenn Lenz aus ſeinen Verſuchen das Geſetz der Proportionalität ableiten konnte, ſo hat dies ſeinen Grund gewiß nur darin, daß er im Verhältniß zu ſeinen Eiſenſtäben zu ſchwache Ströme anwandte.

Es bleibt jetzt noch übrig nachzuweiſen, in wie weit die Gleichung (1) wirklich den wahren Zuſammenhang zwiſchen Stabmagnetismus, Stabdicke und Stromſtärke darſtellt. Zu dieſem Zwecke ſind für ſämmtliche in obiger Tabelle enthaltenen Werthe von p nach dieſer Gleichung die entſprechenden Werthe von m berechnet und in der folgenden Tabelle mit den beobachteten Werthen von m zuſammengeſtellt worden.

p	m		Unterſchied.	p	m		Unterſchied.
	beobachtet.	berechnet.			beobachtet.	berechnet.	
Stab Nro. 1.				Stab Nro. 2.			
27819	0,2864	0,3156	+ 0,0292	27638	0,5098	0,5162	+ 0,0064
25356	0,2845	0,3113	+ 0,0268	25895	0,4975	0,5081	+ 0,0106
23746	0,2842	0,3075	+ 0,0233	20546	0,4883	0,4753	− 0,0130
19555	0,2744	0,2979	+ 0,0235	16397	0,4606	0,4383	− 0,0223
16397	0,2760	0,2837	+ 0,0077	13612	0,4247	0,4041	− 0,0206
13963	0,2735	0,2674	− 0,0052	9001	0,3293	0,3207	− 0,0086
13288	0,2627	0,2668	+ 0,0041	6705	0,2954	0,2610	− 0,0344
7921	0,2337	0,2151	− 0,0186	3758	0,1690	0,1609	− 0,0081
7110	0,2202	0,2030	− 0,0173	3243	0,1386	0,1406	+ 0,0020
6705	0,2078	0,1962	− 0,0116	3198	0,1379	0,1388	+ 0,0009
3507	0,1371	0,1237	− 0,0134	1531	0,0764	0,0685	− 0,0087
3052	0,1193	0,1002	− 0,0091	1388	0,0723	0,0621	− 0,0102
1596	0,0644	0,0605	− 0,0039				
1456	0,0597	0,0558	− 0,0039				

p	m		Unterſchied.	p	m		Unterſchied.
	beobachtet.	berechnet.			beobachtet.	berechnet.	
	Stab Nro. 3.				Stab Nro. 4.		
27223	0,7335	0,7328	— 0,0007	16975	1,3631	1,4137	+ 0,0506
25267	0,7072	0,7215	+ 0,0143	9580	0,7898	0,8082	+ 0,0184
23855	0,6975	0,6968	+ 0,0014	7369	0,5946	0,6264	+ 0,0218
16691	0,6228	0,5940	— 0,0288	5536	0,4640	0,4712	+ 0,0072
13618	0,5648	0,5266	— 0,0382	3383	0,2750	0,2892	+ 0,0142
9736	0,4222	0,4217	— 0,0005	2946	0,2487	0,2504	+ 0,0017
9001	0,3926	0,3974	+ 0,0048				
6705	0,3092	0,3127	+ 0,0035				
5738	0,2642	0,2732	+ 0,0090				
3903	0,1768	0,1917	+ 0,0149				
3659	0,1786	0,1805	+ 0,0019				
3243	0,1541	0,1548	+ 0,0007				
2922	0,1404	0,1455	+ 0,0051				
2562	0,1283	0,1314	+ 0,0138				

Die Uebereinſtimmung zwiſchen den beobachteten und den berechneten Werthen von m iſt von der Art, daß man wohl berechtigt iſt, die Gleichung (1) für den wahren Ausdruck des Zuſammenhanges zwiſchen Magnetismus und Stromſtärke anzuſehen, namentlich wenn man den großen Umfang unſerer Verſuchsreihen ſowohl in Beziehung auf Stromſtärke als auf Stabdurchmeſſer bedenkt. Die Differenzen ſind von der Art, daß man ſie ohne Anſtand auf Koſten der Beobachtungsfehler ſetzen darf, deren mehrere ſich ſummiren können, welche nicht allein in der Aufſtellung, Centrirung und Ableſung der Buſſolen, ſondern auch darin zu ſuchen ſind, daß die Stäbe (gewalztes Eiſen, nicht weiter abgedreht) keinen vollkommnen kreisförmigen Durchmeſſer hatten und Fehler in der Meſſung ihrer Dicke begangen wurden, was namentlich die vorherrſchend poſitiven Differenzen beim Stab Nr. 4 bedingt, deſſen Durchmeſſer wohl im Vergleich zu den übrigen Stäben zu groß angenommen ſeyn mag.

Man könnte die Frage aufwerfen, wie es denn möglich geweſen ſey, daß zwei ſo geſchickten und genauen Experimentatoren, wie Lenz und Jakobi, das wahre Geſetz des Elektromagnetismus entgangen ſey. Darauf iſt vor Allem zu bemerken, daß das von jenen Phyſikern aufgeſtellte Geſetz keinesweges falſch, ſondern nur nicht allgemein gültig iſt. Es iſt wahr innerhalb gewiſſer Gränzen, es iſt wahr für dicke Stäbe und ſchwächere Ströme; und für ſolche haben Lenz und Jakobi ihre Unterſuchungen nur ange-

ſtellt. Innerhalb dieſer Gränzen fällt ihr Geſetz mit den von mir aufgeſtellten zuſammen. Daß Lenz und Jakobi ihre Verſuche namentlich in Beziehung auf Stromſtärke nicht weiter ausdehnten, kann aber nicht auffallen, wenn man bedenkt, daß man zu jener Zeit noch keine conſtanten Ketten hatte, und ſich dieſen Unterſuchungen überhaupt ungleich größere experimentelle Schwierigkeiten entgegenſtellten, als jetzt.

Anwendung des Magnetometers zur Ermittelung der Geſetze des Elektromagnetiſmus. 194
Durch obige Verſuchsreihe iſt nun die Form der Function zwiſchen Stromſtärke und Stabmagnetiſmus feſtgeſetzt; die Stromſtärke iſt auf eine beſtimmte Einheit zurückgeführt, die Werthe für die Stärke des Magnetiſmus ſind aber noch ganz von den Individualitäten des Verſuchs behaftet; um ſie davon zu befreien, müßte man die Werthe für den Stabmagnetiſmus auf Gauß und Weber's abſolutes Maaß zurückführen, wofür jedoch nicht genug zuverläſſige Data vorliegen.

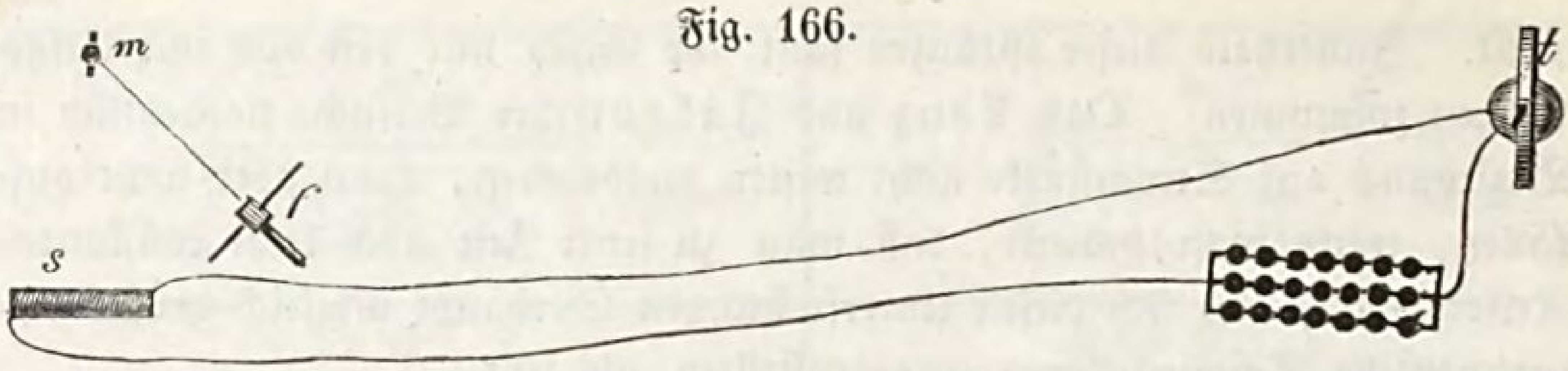
Um einerſeits dieſe Reduction möglich zu machen, anderſeits aber auch den Umfang der Verſuche zu erweitern und ihre Genauigkeit zu erhöhen, ſchritt ich zur Anſtellung einer zweiten Verſuchsreihe, in welcher ich zur Meſſung des Stabmagnetiſmus ſtatt einer Buſſole ein Magnetometer mit Spiegel anwandte.

Da unſere Mittel nicht ausreichen, um ein Magnetometer von einem derjenigen Mechaniker zu beziehen, welche ſich in Anfertigung dieſer Inſtrumente Ruf erworben haben, ſo war ich genöthigt, mir ſelbſt ein ſolches mit den einfachſten Mitteln herzuſtellen. Es war in einem Erker unſers phyſikaliſchen Cabinets an einem 9 Fuß langen feinen Metalldrahte aufgehängt. Die Magnetiſirungsſpirale war im magnetiſchen Meridian des Magnetometers und zwar nördlich von demſelben aufgeſtellt, und zwar ſo, daß die Mitte der Spirale und die Mitte des Magnetometerſtabs in derſelben Horizontalebene lagen. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Axe der Magnetiſirungsſpirale rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian ſtand. Die Länge des von dem Drehpunkt des Magnetometers auf die Axe der Spirale gefällten Perpendikels betrug 217 Centimeter. Die Scala, welche durch das Fernrohr im Spiegel des Magnetometers abgeleſen wurde, war 208 Centimeter weit von der Drehungsaxe des Magnetometers entfernt; ich hatte dieſelbe von Göttingen bezogen, es iſt alſo die allgemeine bei Magnetometerbeobachtungen gebräuchliche in Millimeter getheilte Scala. Die abgeleſenen ganzen Zahlen ſind Centimeter, die Millimeter erſcheinen auf der erſten Decimalſtelle.

Die Aufſtellung der Tangentenbuſſole war dieſelbe wie früher. Die Entfernung der Spirale von der Tangentenbuſſole betrug gegen 100 Fuß.

Dieſer größeren Entfernung wegen war auch eine ſtärkere Batterie nöthig; es wurde bei dieſen Verſuchen eine Säule von 7 dreifachen Bunſen'ſchen Bechern angewandt. Fig. 166 ſtellt die Anordnung dieſer Verſuche dar, *m* iſt das Magnetometer, *f* das Fernrohr.

Fig. 166.



Zunächſt machte ich Verſuche mit einer Magnetiſirungsſpirale, welche Herr Profeſſor Frick mir geliehen hatte; ſie iſt drei Decimeter lang und hat einen inneren Durchmeſſer von 49 Millimetern. Sie beſteht aus 5 Lagen Kupferdraht von 2,8^{mm} Durchmeſſer; jede Lage hat 76 Windungen.

Die eingeſchobenen Stäbe von ganz weichem deutſchen Eiſen waren möglichſt genau cylindriſch abgedreht und 3,3 Decimeter lang, ſie ragten alſo auf jeder Seite 1,5 Centimeter vor. Dieſe Stäbe hatten folgende Durchmeſſer:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1	44,5^{mm}	296,8	1980
2	29,8	162,6	888
3	15	58,1	225
4	6	14,7	36

Ich habe hier gleich die Werthe von $d^{3/2}$ und d^2 beigeſetzt, weil dieſelben doch alsbald gebraucht werden.

Die dünnern Stäbe wurden durch Hülſen von Holz in der Axe der Spirale gehalten.

Wurde nun nach eingeſchobenem Eiſenſtab die Kette geſchloſſen, ſo wurde das Magnetometer aus ſeine Gleichgewichtslage abgelenkt, und oscillirte lange um ſeine neue Gleichgewichtslage, welche man dadurch ermitteln mußte, daß man mehrmals hinter einander die Gränzen der Oscillationen beobachtete. Ich habe ſtets 10 Hin- und 10 Hergänge abgeleſen. So wurden z.B., als der Stab Nro. 4 eingeſchoben war und die Spirale von einem Strom durchlaufen wurde, welcher an der Tangentenbuſſole 29,8^0 Ablenkung hervorbrachte, folgende Beobachtungen am Magnetometer gemacht. Die durch das Fernrohr im Magnetometerſpiegel beobachtete Scala ſchwankte:

					Summa
von Theilſtrich	51,65	bis	55,5	. . . .	107,15
»	51,6	»	55,8	. . . .	107,4
»	51,7	»	55,8	. . . .	107,5
»	51,75	»	55,7	. . . .	107,45
»	51,6	»	55,7	. . . .	107,3
»	51,65	»	55,85	. . . .	107,5
»	51,85	»	56,0	. . . .	107,85
»	51,45	»	55,95	. . . .	107,40
»	51,5	»	56,1	. . . .	107,6
»	51,7	»	55,7	. . . .	107,4
		53,77		Im Mittel	107,45

In der dritten Columne findet man die Summe der bei jeder einzelnen Oscillation beobachteten Gränzen. Das arithmetiſche Mittel aus dieſer Summe halbirt, giebt die Gleichgewichtslage 53,77 an, um welche das Magnetometer ſchwankte.

Nun wurde der Strom umgekehrt, die Tangentenbuſſole gab nach entgegengeſetzter Richtung eine Ablenkung von 29,3°, die Magnetometerſcala ſchwankte

von Theilſtrich	63,7	bis	56,6 . . .	120,3
»	63,7	»	56,6 . . .	120,3
»	63,8	»	56,6 . . .	120,4
»	63,7	»	56,4 . . .	120,1
»	63,4	»	56,6 . . .	120,0
»	63,65	»	56,35 . . .	120,0
»	63,8	»	56,2 . . .	120,0
»	63,9	»	56,4 . . .	120,3
»	63,4	»	56,3 . . .	119,7
»	63,5	»	56,5 . . .	119,8
	60,05		Mittel	120,1

Die folgende Tabelle giebt nun eine Zuſammenſtellung der Beobachtungen, welche auf dieſe Weiſe mit der erwähnten 3 Decimeter langen Spirale und den oben näher bezeichneten 4 Eiſenſtäben angeſtellt wurden.

a		*b*			
Tangentenbuſſole.	Magnetometer.	Tangentenbuſſole.	Magnetometer.	*s*	*m*
		Stab Nro. 1.			
40,35	32,7	35,9	76,06	0,785	20,41
36,6	34,74	34,75	74,90	0.718	19,01
19,5	45,61	18,5	64,23	0,344	8,80
7,5	51,76	7,25	58,96	0,129	3,41
		Stab Nro. 2.			
48,4	30,6	44,15	77,42	1,045	21,83
33,5	40,87	32,1	69,55	0,644	13,38
22,6	46,47	22,5	64,64	0,414	8,48
14,75	50,09	14,3	61,2	0,259	5,17
7,5	52,98	7	58,49	0,127	2,56

a		*b*			
Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	*s*	*m*
		Stab Nro 3.			
48	40,51	47	69,89	1,091	13,09
31,9	46,[illegible]2	30,95	65,80	0,611	8,31
22,75	49,37	22,2	62,5	0,414	5,44
12,5	52,35	12,5	59,45	0,221	3,03
7,4	53,76	7	57,76	0,126	1,81
		Stab Nro. 4.			
41,7	52,28	40,4	60,1	0,871	2,61
29,8	53,77	29,3	60,04	0,567	2,29
21,2	54,22	20,6	59,66	0,382	2,15
12,1	54,7	12	58,9	0,213	1,78
7,1	55,26	7	57,91	0,124	1,14
		Spirale ohne Eiſen.			
44,6	53,7	43	56,93	0,959	1,415
34,5	54,18	33	56,2	0,667	1,010

Unter *a* ſtehen die mit der einen, unter *b* die mit der entgegengeſetzten Stromrichtung gemachten Beobachtungen.

Jede der unter der Ueberſchrift »Magnetometer« in der 2ten und 4ten Columne ſtehenden Zahlen iſt die aus 10 beobachteten Oscillationen auf die erläuterte Weiſe abgeleitete Mittelzahl.

In der 5ten Columne unter *s* ſteht die trigonometriſche Tangente des Winkels, welcher das Mittel aus zwei correſpondirenden Ableſungen der Tangentenbuſſole iſt; ſo z. B. iſt 0,785 gleich $tang. \frac{40,35 + 35,9}{2} = tang. (38^0\ 7,2')$.

Die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetiſchen Meridian, welche dieſer mittleren Stromſtärke entſpricht, iſt die halbe Differenz der beiden correſpondirenden Magnetometerableſungen; der Stromſtärke 0,785 entſpricht alſo bei eingeſchobenem Eiſenſtab Nro. 1 die Magnetometerablenkung $\frac{76,06 - 32,70}{2} = 21,68$.

Die Ablenkung des Magnetometers iſt aber nicht allein durch den Magnetismus des Eiſenſtabes, ſondern auch durch die Einwirkung des Stromes in der Spirale bewirkt; um die Einwirkung des Stromes in der Spirale rein zu haben, muß man natürlich die Wirkung der Spirale

von der Totalwirkung abziehen. Um dies ausführen zu können, ſind die beiden letzten Beobachtungen obiger Tabelle ohne Einſchiebung eines Eiſenſtabes angeſtellt worden.

Die durch die Spirale hervorgebrachte Ablenkung des Magnetometers beträgt jenen Verſuchen zu Folge 1,415 Theilſtriche, für die Stromſtärke 0,959 und 1,01 Theilſtriche für die Stromſtärke 0,667; woraus ſich als Mittel für die Stromſtärke 1 die Magnetometerablenkung 1,494 ergiebt; daraus folgt nun, daß die ablenkende Wirkung, welche die Spirale allein hervorbringt,

für die Stromſtärke	0,1	0,149
» » »	0,2	0,299
» » »	0,3	0,448
» » »	0,4	0,598
» » »	0,5	0,747
» » »	0,6	0,896
» » »	0,7	1,046
» » »	0,8	1,195
» » »	0,9	1,344
» » »	1,0	1,494 Theilſtriche

beträgt, wonach man für jede Stromſtärke leicht die Ablenkung berechnen kann, welche die Spirale allein hervorbringt; ſo berechnet ſich die Wirkung der Spirale für die Stromſtärke 0,785 foldengermaßen:

für 0,7	1,046
» 0,08	0,119
» 0,005	0,007
alſo für 0,785	1,172.

Ziehen wir dieſe Größe ab von 21,68, alſo von der Totalablenkung, welche bei der Stromſtärke 0,785 Spirale und Eiſen hervorbringen, ſo bleibt 20,41 für die Ablenkung, welche der Magnetismus des Eiſens allein hervorgebracht haben würde. Die ſo berechneten Werthe der Stabwirkung finden ſich in unſerer Tabelle in der 6ten Columne unter m.

Dieſe Werthe von m können wir ohne Weiteres als das Maaß für die Stärke des Stabmagnetismus annehmen.

Dieſe Methode aus den Beobachtungen, die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetiſchen Meridian zu beſtimmen, ſetzt ſtillſchweigend voraus, daß ſich die Lage des magnetiſchen Meridians während der Dauer zweier correſpondirenden Beobachtungen nicht ändert; durch die Umkehrung des Stromes kam aber häufig das Magnetometer in ſo bedeutende Oscillationen, daß das Spiegelbild über die Gränzen der Scala hinausging, ſo daß man längere Zeit, einigemale ſogar über eine Stunde, war-

ten mußte, ehe man die Ableſungen beginnen konnte. Unterdeſſen konnnte ſich natürlich die Lage des magnetiſchen Meridians geändert haben, ohne daß man im Stande war, dieſer Aenderung Rechnung zu tragen, während zugleich die Stromſtärke bedeutend abnahm, ſo daß die correſpondirenden Ableſungen der Tangentenbuſſole unter a und b oft bedeutend differiren. Von dieſem Uebelſtande rührt es nun her, daß die aus den Beobachtungen berechneten Reſultate weniger genau ſind, als man es im übrigen von der Ableſungsmethode hätte erwarten ſollen.

Um die Veränderungen in der Lage des magnetiſchen Meridians zu eliminiren, müßte man gleichzeitig den Gang eines zweiten, hinlänglich weit von der Spirale von dem erſten entfernten Magnetometer beobachten, wozu mir die Mittel fehlten.

Viel ließe ſich auch dadurch gewinnen, daß man die Umkehrung des Stromes in einem Momente vornähme, in welchem das oscillirende Magnetometer ſeine Gleichgewichtslage in einer Richtung paſſirt, welche derjenigen gerade entgegengeſetzt iſt, nach welcher durch die Umkehrung des Stromes die Richtung des Magnetometers verändert wird. Durch dieſen Kunſtgriff erreicht man, daß die Oscillationen nicht ſo groß werden, und daß man alsbald nach Umkehrung des Stromes wieder ableſen kann, daß alſo in der Zwiſchenzeit zwiſchen zwei correſpondirenden Beobachtungen keine allzubedeutenden Veränderungen in der Stromſtärke und in der Declination vorgehen. Auf dieſen Kunſtgriff wurde ich leider erſt zu ſpät aufmerkſam.

Mit der ſchon oben erwähnten combinirten blauen und grünen Spirale wurde eine ähnliche Verſuchsreihe angeſtellt. Die eingeſchobenen jetzt abgedrehten Eiſen waren 57 Centimeter lang und hatten folgende Durchmeſſer:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1 . . .	12^{mm}	41,56	144
2 . . .	9	27	81
3 . . .	7,1	48	50,4

Die Beobachtungsreſultate ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt:

a		b			
Tangentenbuſſole.	Magnetometer.	Tangentenbuſſole.	Magnetometer.	s	m
Stab Nro. 1.					
37,55	73,08	36	37,01	0,747	16,82
17	69,47	16,5	41,5	0,301	13,09
10,4	67,15	10,3	43,92	0,183	11,61

a		b			
Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	Tangenten-buſſole.	Magneto-meter.	s	m
Stab Nro. 2.					
35,6	67,27	34 1	44,02	0,699	9,51
22,1	66,72	22	46,41	0,405	8,95
12.7	65,33	12,35	48,15	0,222	7,93
Stab Nro. 3.					
39,3	65,30	38,8	47,61	0,811	6,48
34	63,96	33,2	47,40	0.667	6,30
13,8	62,74	12,75	50,55	0,236	5,39
Die Spiralen ohne Eiſen.					
38	57,65	37	53,09	0,767	2,8

Die Erläuterungen, welche für die Tabelle auf Seite 504 gegeben wurden, beziehen ſich auch auf dieſe.

195 **Berechnung der Factoren.** Im Paragraph 193 iſt bereits nachgewieſen worden, daß der Zuſammenhang zwiſchen Stromſtärke, Stabdurchmeſſer und der Stärke des Stabmagnetiſmus durch die Gleichung

$$S = a\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{m}{b\, d^2}$$

ausgedrückt iſt; es kommt nun darauf an zu unterſuchen, wie weit auch die Reſultate der beiden letzten mit den Magnetometer angeſtellten Verſuchsreihen mit dieſer Gleichung harmoniren. Zunächſt müſſen wir die Werthe der Factoren a und b zu ermitteln ſuchen, welche den beiden Verſuchsreihen entſprechen. Der einfachſte Weg, dies Ziel zu erreichen, ſcheint der zu ſeyn, daß nachdem man für einen beſtimmten Stab den Zahlenwerth von d in die Gleichung geſetzt hat, nun der Reihe nach die zuſammen gehörigen Zahlenwerthe von s und m, wie ſie die Beobachtung gegeben hat, zu ſubſtituiren und ſo eine Reihe von Gleichungen zu bilden, in denen nur noch a und b unbekannt ſind. Aus je zwei dieſer Gleichungen könnte man alsdann a und b berechnen und aus den verſchiedenen ſo erhaltenen Werthen der beiden Conſtanten a und b das Mittel nehmen.

Dieſer Weg iſt aber nicht ausführbar, weil die transſcendente Form der

Gleichung eine einfache algebraiſche Auflöſung nicht geſtattet; ich mußte deshalb verſuchen, indirect ans Ziel zu kommen.

Für die dickeren Stäbe ſind wenigſtens für die geringeren Stromſtärken m und s einander proportional, ſo daß man den Bogen für die Tangente ſetzen kann; dadurch iſt es möglich, das Verhältniß von a zu b, a o den Werth des Quotienten $\frac{a}{b}$, zu ermitteln. Wenn man für die dünnern Stäbe m und s auf dieſe Weiſe graphiſch conſtruirt; wie es in Fig. 165 für die früheren Beobachtungen geſchehen iſt, ſo kann man das abſolute magnetiſche Maximum für einen ſolchen dünnen Stab durch Zeichnung wenigſtens annähernd ermitteln, und in Folge davon auch einen angenäherten Werth von b erhalten; iſt aber b und $\frac{a}{b}$ bekannt, ſo läßt ſich auch leicht der Werth von a beſtimmen.

Die ſo ermittelten Werthe von a und b, bei deren Beſtimmung aber noch keineswegs alle Beobachtungen berückſichtigt worden ſind, wurden nun in die Gleichung eingeführt, und dann der zu jedem gegebenen Werth von s gehörige Werth von m berechnet, und die berechneten Werthe von m mit den beobachteten verglichen. — Stellte ſich bei dieſer Vergleichung heraus, daß die Differenzen zwiſchen dem berechneten und beobachteten m vorherrſchend auf eine Seite fallen, ſo wurde eine entſprechende kleine Veränderung an den Factoren a und b vorgenommen, und ſo mit Probiren fortgefahren, bis die Summe der poſitiven Differenzen der Summe der negativen möglichſt nahe gleich war.

Auf dieſe Weiſe ergaben ſich für die erſte Verſuchsreihe mit der kurzen Spirale als die wahrſcheinlichſten Werthe

$$a = 0{,}015$$
$$b = 0{,}00108,$$

ſo daß die Gleichung jetzt heißt

$$s = 0{,}016\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{m}{0{,}00108\, d^2}$$

Nach dieſer Gleichung ergaben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von m und s.

s	m beobachtet.	m berechnet.	Differenz.
Stab Nro. 1.			
0,785	20,41	20,06	— 0,35
0,344	8,80	8,81	+ 0,01
0,129	3,41	3,31	— 0,10

s	m		Differenz.
	beobachtet.	berechnet.	
Stab Nro. 2.			
0,644	13,38	13,37	— 0,01
0,414	8,48	8,68	+ 0,20
0,259	5,19	5,45	+ 0,26
0,127	2,56	2,68	+ 0,12
Stab. Nro. 3.			
0,611	8,38	8,09	— 0,29
0,414	5,95	5,83	— 0,12
0,221	3,03	3,23	+ 0,20
0,126	1,81	1,87	+ 0,06
Stab Nro. 4.			
0,871	2,56	2,91	+ 0,35
0,567	2,29	2,61	+ 0,32
0,382	2,15	2,27	+ 1,2
0,213	1,78	1,64	— 0,14
0,124	1,14	1,08	— 0,06

Für die combinirte grüne und blaue Spirale ergab ſich

$$a = 0{,}0042$$
$$b = 0{,}0015,$$

wonach ſich folgende zuſammengehörige Werthe von m und s ergaben.

s	m		Differenz.
	beobachtet.	berechnet.	
Stab Nro. 1.			
0,747	16,82	16,57	— 0,25
0,301	13,09	12,96	— 0,13
Stab Nro. 2.			
0,699	9,51	9,81	+ 0,30
0,405	8,95	9,03	+ 0,08
0,222	7,93	7,65	— 0,28

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
		Stab Nro. 3.	
0,811	6,48	6,40	— 0,08
0,667	6,30	6,32	+ 0,02
0,23[illegible]	5,39	5,46	+ 0,07

So iſt denn auch durch die mit dem Magnetometer angeſtellten Verſuche die Richtigkeit des in §. 193 aufgeſtellten magnetiſchen Geſetzes beſtätigt worden. Die Differenzen zwiſchen den beobachteten und den berechneten Werthen von m liegen innerhalb der Gränze der Beobachtungsfehler; zur genaueren Beſtimmung der Factoren ſind aber allerdings noch genauere Verſuchsreihen nöthig.

196 **Reduction der Factoren auf beſtimmte Einheiten.** Die Werthe der Factoren a und b, wie dieſelben ſo eben ermittelt wurden, ſind noch ganz und gar mit den Individualitäten der Inſtrumente und des Verſuchs behaftet, wir müſſen ſuchen ſie von denſelben zu befreien.

Der Factor a ändert ſich mit der Einheit, die man für die Stromſtärke annimmt, b dagegen iſt abhängig von der Einheit, die man für das magnetiſche Moment des Eiſenſtabes wählt.

Die Reduction des Factors a auf chemiſches Maaß iſt ſehr einfach, man hat die oben für a ermittelten Zahlenwerthe nur mit dem Reductionsfactor der Tangentenbuſſole, welcher in unſerm Falle gleich 70 iſt, (Seite 251) und alsdann noch mit der Anzahl der Windungen zu multipliciren, in welchen der Strom um das Eiſen herumgeführt wird, alſo in dem einen Falle mit 76 . 5 = 380, im andern mit 780; für die kurze Spirale wird alſo

$$a = 0{,}016 \;.\; 380 \;.\; 70 = \mathbf{425},$$

für die combinirte blaue und grüne aber iſt

$$a = 0{,}0042 \;.\; 780 \;.\; 70 = \mathbf{229}.$$

Im Paragraph 193 iſt dieſe Reduction von vorn herein vorgenommen worden. Der Factor b iſt auf Gauß und Weber's abſolute magnetiſche Maaßeinheit zu reduciren. Zu dieſem Zwecke müſſen wir zunächſt die Ableſungen der Scala in Tangenten des Ablenkungswinkels verwandeln. Es iſt bereits angeführt worden, daß ein von der Umdrehungsaxe des Magnetometers auf die Scala gefälltes Perpendikel die Länge von 2080 Millimeter hat; folglich iſt die Tangente des Ablenkungswinkels,

welchem 1 Theilſtrich der Scala entſpricht gleich $1/_{4160} = 0{,}00024038$. Die Tangente des Ablenkungswinkels, welche einem Centimeter, alſo der Einheit entſpricht, in welcher unſere Werthe von m ausgedrückt ſind, iſt alſo 0,0024038, oder es iſt $tang.\ v = m \ .\ 0{,}0024038$.

Nun iſt aber das magnetiſche Moment eines Magnetſtabes in abſolutem Maaß ausgedrückt

$$M = T \ .\ r^3 \ tang.\ v$$

oder

$$M = T \ .\ r^3 \ .\ m \ .\ 0{,}0024038$$

wo für T der Werth für die magnetiſche Erdkraft, für r die in Millimetern ausgedrückte Entfernung des Magnetſtabes von dem Magnetometer, alſo in unſerm Falle $2170^3 = 10218313000$ zu ſetzen.

Für Freiburg können wir $T = 2{,}209$ ſetzen (Seite 252), und ſo ergiebt ſich

$$M = 54260210 \ .\ m.$$

Subſtituiren wir nun in unſere Gleichung M für m, machen wir alſo den Zähler des Bruches $\frac{m}{b\,d^2}$ — 54260210mal größer, ſo müſſen wir auch ſeinen Nenner eben ſo viel mal größer machen, wenn der Werth des Bruches ungeändert bleiben ſoll; wollen wir alſo auf abſolutes Maaß reduciren, ſo müſſen wir ſowohl m als b mit 54260210 multipliciren; und ſo werden unſere Gleichungen für die kurze Spirale

$$P = 425 \ d^{3/2} \ tang. \frac{M}{58600 \ d^2} \quad . \ . \ . \ . \quad a)$$

für die combinirte grüne und blaue Spirale aber

$$P = 229 \ d^{3/2} \ tang. \frac{M}{81390 \ d^2} \quad . \ . \ . \ . \quad b)$$

In dieſen Gleichungen bezeichnet P die auf chemiſches Maaß reducirte und mit der Windungszahl multiplicirte Stromſtärke, M aber das in abſolutem Maaß ausgedrückte magnetiſche Moment des Stabes.

Das abſolute Maximum des Stabmagnetismus. Der größte 197
Werth, den $\frac{M}{B\,d^2}$ (wo $B = 542602106$) erreichen kann, iſt 90^0, es iſt alſo $M = 90^0 \ B\,d^2$ das abſolute Maximum, dem ſich das magnetiſche Moment des Stabes mit wachſender Stromſtärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch daſſelbe je vollſtändig erreichen zu können.

Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen ſtrebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht, iſt aber

$$T \ .\ M \ . = 90 \ .\ T \ .\ B\,d^2 = 90 \ .\ 2{,}2 \ .\ B\,d^2,$$

wenn $T = 2{,}2$, der Werth für Freiburg, geſetzt wird. Für die in die kurze Spirale eingeſchobenen 33 Centimeter langen Stäbe haben wir alſo

$$T M = 90 \ .\ 2{,}2 \ .\ 58600 \ .\ d^2 = 11247000 \ d^2.$$

Soll dieſer Werth auf die Schwerkraft reducirt werden, ſo müſſen wir ihn noch mit g, alſo mit 9808 dividiren (Lehrb. d. Phyſ. 3. Aufl. 2. Bd. S. 48). Es ergeben ſich auf dieſe Weiſe für die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die bis zum Maximum magnetiſirten 33 Centimeter langen Stäbe bei verſchiedener Dicke zu drehen ſtrebt, in Milligrammen ausgedrückt, folgende Zahlenwerthe:

Stabdicke in Millimetern.	Drehungsmoment in Milligrammen.
5	28667
10	114670
20	458680
30	1034030
50	2866750
100	11467000

Hätte alſo z. B. ein 33 Centimeter langer Eiſenſtab von 20^{mm} Durchmeſſer das Maximum des Magnetismus erlangt, dem er ſich, in die kurze Spirale eingeſchoben, mehr und mehr nähert, wenn die Stromſtärke wächſt, ſo würde die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen ſtrebt, wenn er rechtwinkelig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht, gleich ſeyn dem Druck von 458680 Milligrammen, an einem Hebelarm von 1 Millimeter Länge angebracht, oder, was daſſelbe iſt, gleich dem Drucke von 45,868 Grammen, welche an einen Hebelarm von 1 Centimeter Länge angreifen.

Die Stäbe von 50 und 100 Millimeter Durchmeſſer, welche in obigem Tabellchen mit aufgeführt ſind, laſſen ſich freilich nicht in unſere Spirale einſchieben; die entſprechenden Werthe des magnetiſchen Maximums beziehen ſich alſo auf den Fall, daß ſie in Spiralen von gleicher Länge, gleicher Windungszahl, aber größerem Durchmeſſer eingeſchoben ſind.

Aehnliche Reſultate laſſen ſich auch aus der Gleichung b) für die längeren Spirale berechnen.

198 **Berechnung der Schwingungsdauer der bis zum Maximum magnetiſirten Eiſenſtäbe.** Iſt einmal das magnetiſche Moment eines Stabes bekannt, ſo iſt es leicht, ſeine Schwingungsdauer für den Fall zu berechnen, daß er, an einem feinen Metalldraht aufgehängt, in horizontaler Ebene frei ſchwingen könnte; es iſt nämlich

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Setzen wir nun für C ſeinen Werth $\frac{T.M}{g}$, ſo kommt

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{T.M}}$$

und alſo für die in die kurze Spirale eingeſchobenen 33 Centimeter langen Eiſenſtäbe

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{11247000\ d^2}}.$$

Das Trägheitsmoment eines Stabes, welcher um ſeinen Schwerpunkt oscillirt, iſt aber

$$K = \tfrac{1}{3}\ W \frac{l^2}{4},$$

wenn W das Gewicht und l die Länge des Stabes bezeichnet. Für einen 330 Millimeter langen Eiſenſtab ergiebt ſich nach dieſer Formel

$$K = 18290000\ d^2$$

alſo

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{18290000\ d^2}{11247000\ d^2}}.$$

In dem unter dem Wurzelzeichen ſtehenden Bruche hebt ſich d^2 in Zähler und Nenner, und ſo ergiebt ſich endlich

$$t = 4{,}004 \text{ Secunden}.$$

Für die bis zum Maximum magnetiſirten Eiſenſtäbe iſt alſo die Schwingungszeit von dem Durchmeſſer unabhängig.

Vergleichen wir dieſe Reſultate mit denjenigen, welche *Häcker* aus ſeinen Schwingungsverſuchen mit magnetiſirten Stahlſtäben gezogen hat, und welche oben auf Seite 476 bereits erwähnt ſind. Der letzte der 6 Magnetſtäbe, welche in der kleinen Tabelle aufgeführt wurden, hat ungefähr gleiche Länge mit den in der kurzen Spirale eingeſchobenen Eiſenſtäben; ſeine Schwingungszeit iſt aber 9,23, alſo 2,3mal größer, das magnetiſche Moment jenes Stabes alſo 5,29mal geringer, als das abſolute Maximum eines Eiſenſtabes von gleichen Dimenſionen.

Während für Eiſenſtäbe, welche bis zum abſoluten Maximum magnetiſirt ſind, die Schwingungsdauer bei gleicher Länge auch für verſchiedene Durchmeſſer dieſelbe iſt, weil das Trägheitsmoment bei wachſendem Durchmeſſer in demſelben Verhältniß wächſt, wie das magnetiſche Moment, nimmt bei möglichſt ſtark magnetiſirten Stahlſtäben die Schwingungszeit mit dem Querſchnitt zu, die dünneren Stäbe ſind alſo verhältnißmäßig ſtärker magnetiſirt als die dicken.

**Berechnung der Stromſtärke, welche nöthig iſt, um in Eiſen- 199
ſtäben einen aliquoten Theil des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erzeugen.** Iſt einmal für eine Magnetiſirungsſpirale die Gleichung bekannt, welche bei entſprechender Länge der Stäbe die Stromſtärke, den Stabdurchmeſſer und den Stabmagnetismus verbindet, ſo kann man nach dieſer Gleichung leicht berechnen, wie groß die Stromſtärke ſeyn

muß, welche erforderlich iſt, um in einem Stabe von gegebenem Durchmeſſer einen beſtimmten Theil des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erzeugen.

Soll z. B. für die kurze Spirale und einen Eiſenſtab von 33 Centimeter Länge berechnet werden, welche Stromſtärke nöthig iſt, um die Hälfte des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erzeugen, ſo hat man in Gleichung a) auf Seite 511 $\frac{M}{58600\, d^2}$ gleich 45^0, alſo $tang. \frac{M}{58600\, d^2} = 1$ zu ſetzen; es iſt alſo

$$P = 425\, d^{3/2}.$$

Da nun aber P gleich iſt der Stromſtärke, multiplicirt mit der Windungszahl, welche in unſerm Falle 380 iſt, ſo haben wir für die Stromſtärke

$$S = \frac{425}{380}\, d^{3/2} = 1{,}14\, d^{3/2}.$$

Danach ergiebt ſich, daß, um in unſerer Spirale einen Stab von 5^{mm} Durchmeſſer bis zur Hälfte ſeines abſoluten Maximums zu magnetiſiren, eine Stromſtärke $1{,}14 . 5^{3}/_{2} = 12{,}768$, alſo ein Strom nöthig iſt, welcher in der Minute nahezu 13 Kubikcentimeter Knallgas liefert. Wie groß das entſprechende magnetiſche Moment des Stabes iſt, ergiebt ſich aus der Tabelle auf Seite 512.

Will man ermitteln, wie groß die Stromſtärke ſein muß, welche 0,3 des abſoluten Maximums erzeugt, ſo hat man zunächſt $\frac{M}{58600\, d^2} = 27^0$, alſo $tang. \frac{M}{58600\, d^2} = 0{,}509$ zu ſetzen und dann in der Weiſe fort zu rechnen, wie es eben angedeutet wurde.

Auf dieſe Weiſe habe ich berechnet, welche Stromſtärke nöthig iſt, um in einer Spirale von 30 Centimeter Länge und 380 Windungen $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ u. ſ. w. des abſoluten Maximums in 33 Centimeter langen Stäben von 5, 10, 20 u. ſ. w. Millimeter Durchmeſſer zu erzeugen und die Reſultate in der folgenden Tabelle zuſammengeſtellt:

Durchmeſſer der Stäbe.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
5^{mm}	1,9	4,2	6,6	9,4	12,8
10	5,6	11,7	18,3	26	36
20	16	33	52	74	102
30	29	60	95	136	187
40	45	93	146	209	288
50	64	130	205	292	403
75	117	240	377	537	740
100	180	369	580	827	1140

Durchmeſſer der Stäbe.	0,6	0,7	0,8	0,9
5mm	16	24	39	81
10	49	70	108	227
20	140	199	306	640
30	257	366	561	1178

Wir erſehen aus dieſer Tabelle, daß man in einem Stabe von 5mm Durchmeſſer dem abſoluten Maximum mit mäßiger Stromſtärke ſchon ziemlich nahe kommen kann, denn um 0,9 des abſoluten Maximums zu erhalten, bedarf es der Stromſtärke 81. Um von 0,8 des abſoluten Maximums auf 0,9 zu kommen, bedarf es aber ſchon einer Steigerung der Stromſtärke von 39 auf 81; man überſieht hier ſchon deutlich, daß, wenn man ſich des abſoluten Maximum nähert, die Vermehrung der Stromſtärke nur eine verhältnißmäßig ſehr geringe Vermehrung des magnetiſchen Momentes bewirkt.

Bei einem Stabe von 10mm Durchmeſſer iſt ſchon eine ſehr bedeutende Stromſtärke, nämlich 227, alſo ein Strom, welcher in der Minute 227 Kubikcentimeter Knallgas liefert und an unſerer Buſſole ungefähr eine Ablenkung von 71,5^0 hervorbringen würde, nöthig, um 0,9 des abſoluten Maximums zu erreichen.

Wenn eine gegebene Stromſtärke in einem gegebenen Eiſenſtab irgend einen aliquoten Theil des abſoluten magnetiſchen Maximums erzeugt, ſo wird die nämliche Stromſtärke einen dickern Stab nicht bis zu demſelben Grade magnetiſiren können. In einem Stabe von 10mm Durchmeſſer z. B. erzeugt die Stromſtärke 36, die Hälfte des abſoluten magnetiſchen Maximums; vertauſcht man dieſen Stab mit einem doppelt ſo dicken, ſo iſt jetzt bei derſelben Stromſtärke allerdings das magnetiſche Moment des dickern Stabes größer, als das des dünnern vorher war, allein in jedem einzelnen Theilchen des dickern Stabes iſt der Magnetismus keineswegs ſo ſtark entwickelt, als es vorhin bei den dünnern der Fall war; wie wir aus der letzten Tabelle erſehen, wird ein Stab von 20mm Durchmeſſer durch die Stromſtärke 36 nur etwas über 0,2 ſeines abſoluten magnetiſchen Maximums erhalten. Soll der 20mm dicke Eiſenſtab auch auf 0,5 ſeines Maximums gebracht werden, ſo müßte man die Stromſtärke bis auf 102 erhöhen.

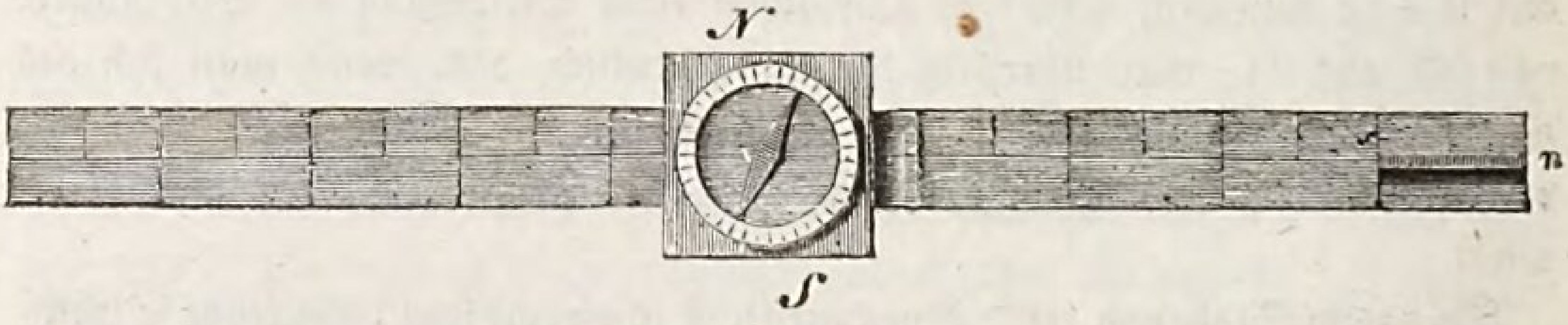
Dieſe Verhältniſſe laſſen ſich leicht erklären. Geſetzt, ein Eiſenſtab, ſey in die Spirale eingeſchoben, durch eine beſtimmte Stromſtärke bis zu einem gewiſſen Grade magnetiſirt worden; ſchiebt man nun neben denſelben einen zweiten Eiſenſtab ein, ſo wirken nun auf jeden Eiſenſtab zwei entgegenge-

ſetzte magnetiſirende Kräfte, denn der Magnetismus des einen Eiſenſtabes ſtrebt den andern im entgegenſetzten Sinn zu magnetiſiren, wie der Strom in der Spirale, in jedem einzelnen Stabe kann alſo der Magnetismus nicht ſo ſtark entwickelt ſein, als wenn der andere Stab nicht da wäre; durch eine entſprechende Vermehrung der Stromſtärke kann man aber in den combinirten Stäben doch denſelben Grad der Magnetiſirung gleichſam erzwingen, den in dem einzelnen Stabe die geringere Stromſtärke erzeugt.

Was hier von der Einwirkung des einen Stabes auf den andern geſagt wurde, gilt auch von der gegenſeitigen Einwirkung der einzelnen Längenſtreifen unter ſich, in welche man ſich jeden Eiſenſtab zerlegt denken kann.

Betrachten wir die analogen Verhältniſſe bei Stahlmagneten. Legt man, wie Fig. 167 zeigt, einen Magnetſtab öſtlich von der Buſſole auf, ſo er-

Fig. 167.



hält man eine entſprechende Ablenkung; wird nun ein ganz gleicher Magnetſtab bei gleicher Richtung ſeiner Pole weſtlich von der Buſſole in gleicher Entfernung aufgelegt, ſo ſummiren ſich die Wirkungen der beiden Magnetſtäbe, die Ablenkung der Buſſole wird nun doppelt ſo groß ſeyn wie vorher (vorausgeſetzt, daß die Ablenkungen noch klein genug ſind, um die Tangenten den entſprechenden Winkeln proportional zu ſetzen); hätte man aber ſtatt deſſen den zweiten Magnetſtab auf den erſten gelegt und zwar Südpol auf Südpol, Nordpol auf Nordpol, ſo wird man keineswegs eine doppelt ſo große Ablenkung erhalten, wie ſie ein einzelner Magnetſtab hervorbringt.

Dies rührt nun daher, daß der Magnetismus in einem Stahlſtab theilweiſe wenigſtens temporär den im andern aufhebt, ſo daß beide zuſammen weniger ſtark magnetiſirt erſcheinen als ein einzelner. Hier hat man nun kein Mittel, wie die Vermehrung der Stromſtärke bei Eiſenſtäben, welche in eine Magnetiſirungsſpirale eingeſchoben ſind, um in den combinirten Stäben doch wieder denſelben Grad der Magnetiſirung zu erzwingen, daher denn größere Stahlmagnete ſtets ſchwächer magnetiſirt erſcheinen als kleinere, wie wir denn auch oben (Seite 474) geſehen haben, daß die Tragkraft von Stahlmagneten keineswegs ihrem Gewicht proportional zunimmt.

Es wäre wichtig, zu unterſuchen, ob der nachtheilige Einfluß zweier magnetiſchen Stahlſtäbe für verſchiedene Stahlſorten und für verſchiedene Härtungsgrade derſelbe iſt.

Einfluß der Stablänge. Die in den letzten Paragraphen beſpro- 200
chenen Verſuche ſind nicht in der Abſicht angeſtellt worden, um den Einfluß der Länge der Spirale und der Stäbe zu ermitteln, ſie geben deshalb in dieſer Beziehung auch nur ſehr unvollſtändige Auskunft. — Um den Einfluß der Längenverhältniſſe genauer zu erforſchen, hätte man die Längendimenſionen weit mehr abändern und für vollkommen gleiches Verhältniß der Länge der Spirale zur Länge des Stabes ſorgen müſſen.

Die obigen Verſuche ſind nur mit zweierlei Längendimenſionen angeſtellt; einmal mit einer 30 Centimeter langen Spirale, in welche 33 Centimeter langen Stäbe eingeſchoben wurden, dann mit einer Combination von zwei Spiralen, von welchen die innere 54, die äußere 48 Centimeter lang war, während die Länge der eingeſchobenen Stäbe hier 57 Centimeter betrug. Für den erſten Fall haben wir die Gleichung

$$P = 425\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{5860\, d^2},$$

für den letzteren

$$P = 229\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{8139\, d^2}.$$

Die Factoren von $d^{3/2}$, nämlich 425 und 229 ſind ſehr nahe der Länge der entſprechenden Spirale umgekehrt proportional (wenn man bei der Combination der beiden längeren Spiralen die innere als maaßgebend betrachtet); nehmen wir dies Verhältniß als allgemein gerechtfertigt an (wozu jedoch noch weitere Verſuche nöthig ſind), ſo könnte man den Factor a im Mittel gleich $\frac{12558}{l}$ ſetzen, wenn l in Centimeter ausgedrückt iſt, unſere Gleichung hat alſo die Form:

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{b\, d^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c)$$

in welcher vor der Hand b noch unerörtert bleiben mag.

$P = SW$, d. h. die magnetiſirende Kraft gleich der Stromſtärke, multiplicirt mit der Windungszahl, die Windungszahl iſt aber caeteris paribus proportional der Länge der Spirale, mithin iſt $P = nSl$, wo n ein conſtanter Factor iſt, der uns hier nicht weiter kümmert; wir haben alſo

$$n \,.\, S \,.\, l = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{b\, d^2}$$

oder

$$S = \frac{12558}{l^2} \,.\, \frac{d^{3/2}}{n}\, tang.\, \frac{M}{b d^2}.$$

Sollen in zwei Spiralen von verſchiedener Länge, aber ſonſt gleicher Einrichtung, zwei Eiſenſtäbe von gleichem Durchmeſſer und einer der Spirale proportionalen Länge bis zu demſelben aliquoten Theil des abſoluten

Maximums magnetiſirt werden, ſo iſt die hierzu erforderliche Stromſtärke dem Quadrat der Länge umgekehrt proportional

Hat man z. B. eine beſtimmte Stromſtärke S nöthig, um einen 10^{mm} dicken, 44 Centimeter langen Eiſenſtab in einer 40 Centimeter langen, aus drei Lagen gebildeten Spirale zur Hälfte ſeines abſoluten Maximums zu magnetiſiren, ſo wird, um in einer halb ſo langen, ebenfalls aus drei Lagen deſſelben Kupferdrahtes gebildeten Spirale einen 10^{mm} dicken, aber nur 22 Centimeter langen Eiſenſtab gleichfalls auf die Hälfte ſeines abſoluten magnetiſchen Maximums zu bringen, eine Stromſtärke $_4S$ nöthig.

Gelänge es, in den Factor b der Gleichung c) gleichfalls den Einfluß der Längendimenſionen einzuführen und alſo auch nach dieſer Seite hin die Gleichung zu verallgemeinern, ſo würde die Gleichung c) das von allen Specialitäten entkleidete Geſetz des Elektromagnetismus darſtellen.

Auf den erſten Anblick ſcheint es, als könne wohl der Factor b der Stablänge proportional ſeyn, allein während der Quotient der Länge $\frac{57}{33} = 1{,}72$ iſt, ergiebt ſich der Quotient der Factoren $\frac{8139}{5860} = 1{,}38$, eine Differenz, welche zu groß iſt, als daß man jene Proportionalität annehmen könnte; ſie iſt zu groß, als daß ſie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern geſetzt werden dürfte; nur wenn es ſich um eine aller erſte ganz grobe Annäherung handelt, welche in manchen Fällen ganz erwünſcht ſeyn dürfte, könnte man den Factor b der Spirallänge proportional ſetzen, vorausgeſetzt, daß Spiral- und Stablänge ſtets in gleichem Verhältniß ſtehen; als erſte Annäherung könnte man alſo die Gleichung

$$P = \frac{12558}{l} d^{3/2} \, tang. \, \frac{M}{172\, l\, d^2}$$

anwenden.

So habe ich denn die Geſetze der Magnetiſirung von Eiſenſtäben durch den galvaniſchen Strom bis zu dem Punkte entwickelt, daß zum völligen Abſchluß nur noch eine genauere Ermittelung des Einfluſſes erforderlich iſt, welchen Stab- und Spiralenlänge ausüben. — Mancherlei Umſtände machen es mir gegenwärtig unmöglich, ſolche Verſuchsreihen anzuſtellen, wie ſie zur Löſung dieſer Fragen erforderlich wären; ich muß mir dies für eine ſpätere Zeit vorbehalten, wenn nicht, was mich ſehr freuen ſollte, geſchicktere Experimentatoren, denen auch mehr Hülfsmittel zu Gebote ſtehen, dieſen wichtigen und intereſſanten Gegenſtand aufnehmen und fortführen.

201 **Concentration des Magnetismus auf der Oberfläche magnetiſcher Körper?** Haldat beſchreibt in der Annales de chimie et de Physique (3e série, T. II, p. 457) einige Verſuche, welche beweiſen ſollen, daß der Magnetismus ſich vorzugsweiſe auf der Oberfläche der

Magnete und Elektromagnete verbreitet. So ſteckte er z. B. in eine Magnetiſirungsſpirale eine Röhre von Eiſen (ein Stück Flintenlauf) und fand die Tragkraft gleich, mochte nun die Höhlung der Röhre frei oder durch einen Eiſencylinder ausgefüllt ſeyn; eben ſo fand er, daß eine Magnetnadel, in deren Nähe jener Elektromagnet aufgeſtellt war, gleich ſchnell oscillirte, es mochte nun ein Eiſenſtab in der Höhlung ſtecken oder nicht.

Jedenfalls ſind dieſe Verſuche nicht mit hinreichender Umſicht und Genauigkeit ausgeführt, ſonſt hätten ſie nicht zu einem Reſultat führen können, welches mit den ſo eben entwickelten Geſetzen des Elektromagnetismus unverträglich iſt.

Ganz direct wird Haldat's Behauptung durch folgenden Verſuch Poggendorff's widerlegt.

In eine Magnetiſirungsſpirale von 4 Zoll Länge und 8 Linien innerem Durchmeſſer paßt ein hohler Eiſenkern von 4½ Zoll Länge, der ſich willig in die Hülſe ſchieben läßt. In die Höhlung dieſes Eiſenkerns, welche 4 Linien Durchmeſſer hat, läßt ſich wiederum willig ein 4 Linien dicker maſſiver Eiſenſtab einſchieben.

Wenn nun dieſe beiden Kerne in die horizontale Spirale eingeſchoben ſind, daß die Mitte des hohlen mit der Mitte der Spirale zuſammenfällt, d r innere ſolide aber an einem Ende ein wenig, etwa 1 Linie aus dem hohlen hervorragt, ſo wird der ſolide Eiſenkern in dem Moment, in welchem durch die Spirale eine galvaniſche Batterie geſchloſſen wird, bis etwa zur Hälfte gewaltſam herausgeſtoßen (P. A. LXXIV. 240).

Dies beweiſt unwiderleglich, daß durch den Strom auch der innere Eiſenkern, und zwar gleichnamig mit den hohlen magnetiſirt wird.

Vertheilung des Magnetismus in Stahlmagneten und Elek- 202
tromagneten. Unter dieſem Titel findet ſich im LXX. Bande von Poggendorff's Annalen S. 1 eine Abhandlung von R. van Rees, deren Inhalt im Weſentlichen folgender iſt: Es iſt eine bekannte Thatſache, daß in der Mitte eines regelmäßig magnetiſirten Stahlſtabes kein freier Magnetismus nachzuweiſen iſt, daß aber die Stärke deſſelben mit entgegengeſetzter Polarität nach den Enden hin zunimmt; wir wiſſen aber ſehr wohl, daß dies nicht daher rührt, daß auf der einen Hälfte des Magnetſtabes nur Nord-, auf der anderen nur Südmagnetismus vorhanden iſt, ſondern daß in jedem einzelnen Eiſenpartikelchen eine Trennung der Polaritäten ſtattfindet, und daß man ſich den magnetiſchen Zuſtand eines magnetiſirten Stahlſtabes ungefähr ſo vorzuſtellen hat, wie dies durch Fig. 168 verſinnlicht wird.

Fig. 168.

Van Ree's hat nun Be-

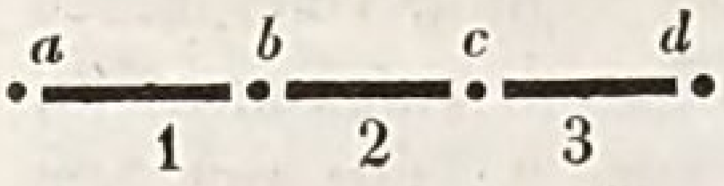
trachtungen darüber angeſtellt, ob wohl durch die ganze Länge des Magnetſtabes hindurch die magnetiſche Polarität der einzelnen Partikelchen gleich ſtark, oder ob ſie in der Mitte des Stabes oder an ſeinen Enden am ſtärkſten entwickelt iſt. In etwas veränderter Form iſt ſeine Schlußweiſe folgende:

In Fig. 169 ſtelle *ab* ein magnetiſches Partikelchen dar, ſo iſt ſeine Wirkung in die Ferne dieſelbe, als ob eine entſprechende Quantität Nord= und Südmagnetismus in zwei Punkten des Partikelchens vereinigt wäre, die zu beiden Seiten gleich viel von ſeiner Mitte abſtehen.

Fig. 169.

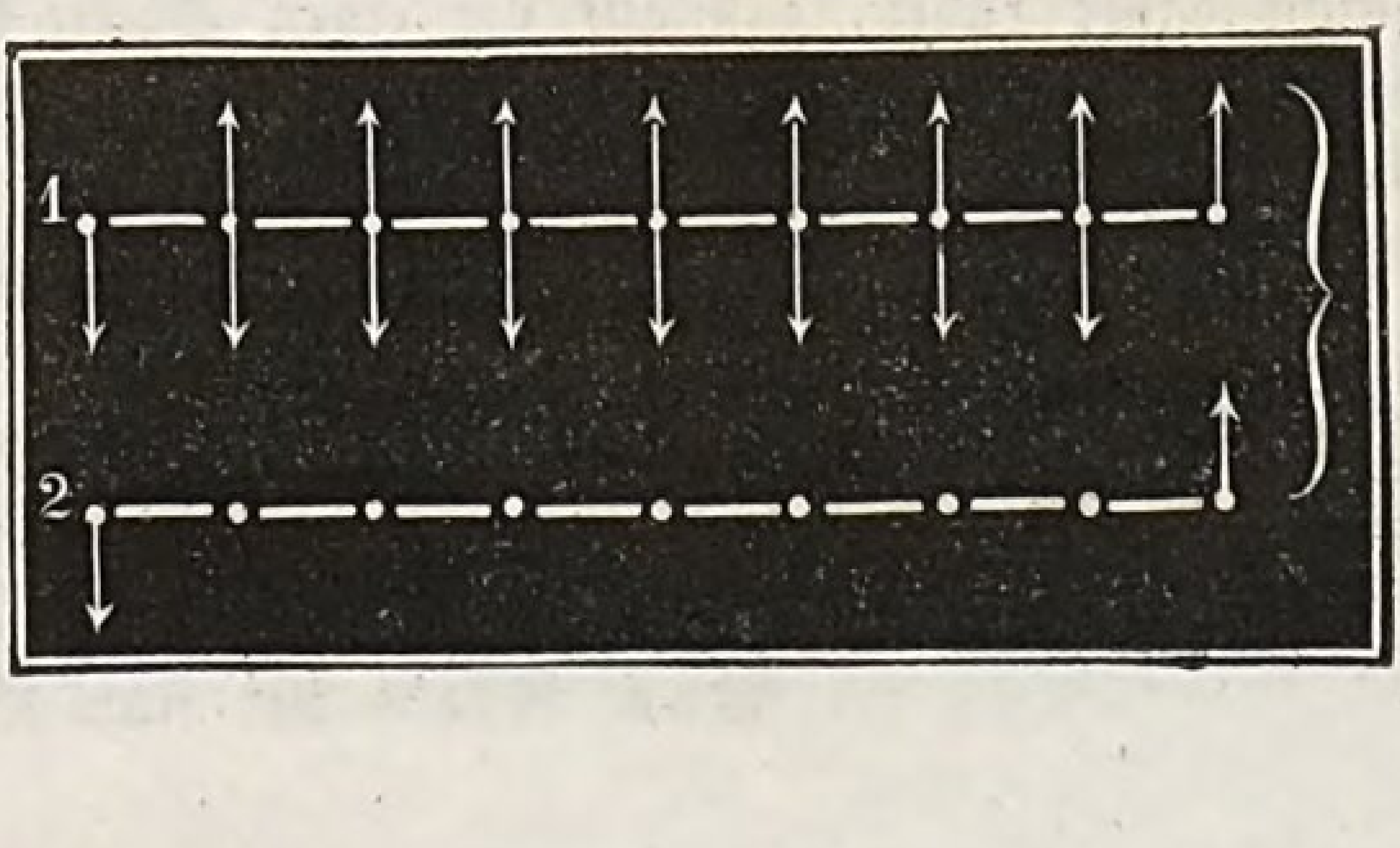
Dieſe Punkte können wir nach Belieben in *c* und *d*, oder an ſeinen Enden in *a* und *b*, oder endlich auch noch etwas über ſeine Enden hinaus in *f* und *g* annehmen, d. h. mit anderen Worten: eine beſtimmte Quantität Nord= und Südmagnetismus in *f* und *g*, oder eine entſprechende Quantität in *a* und *b*, in *c* und *d*, würde in die Ferne dieſelbe Wirkung wie das ganze Partikelchen ſelbſt hervorbringen können. Sind nun 1, 2, 3 Fig. 170 eine Reihe magnetiſcher Partikelchen, ſo kann man die entſprechenden Mengen der magnetiſchen Fluida immer in den Punkten vereinigt denken, welche in der Mitte zwiſchen zwei Partikelchen liegen; es wären alſo gewiſſermaßen *a* und *b* die Pole von 1, *b* und *c* die von 2, *c* und *d* die von 3. In *a* wäre der Nordmagnetismus von 1, in *d* der Südmagnetismus von 3; in *b* fällt der Südmagnetismus von 1 und der Nordmagnetismus von 2 zuſammen. Der Nordmagnetismus von 3 fällt mit dem Südmagnetismus von 2 auf den Punkt *c*.

Fig. 170.



Adoptiren wir dieſe Vorſtellungsweiſe, ſo läßt ſich leicht entwickeln, welche Erſcheinungen ein Magnetſtab hervorbringen muß, je nachdem alle ſeine Partikelchen gleich ſtark magnetiſch ſind, oder die Polarität der Partikelchen von der Mitte zu den Enden hin zu= oder abnimmt. Betrachten wir die drei Fälle näher.

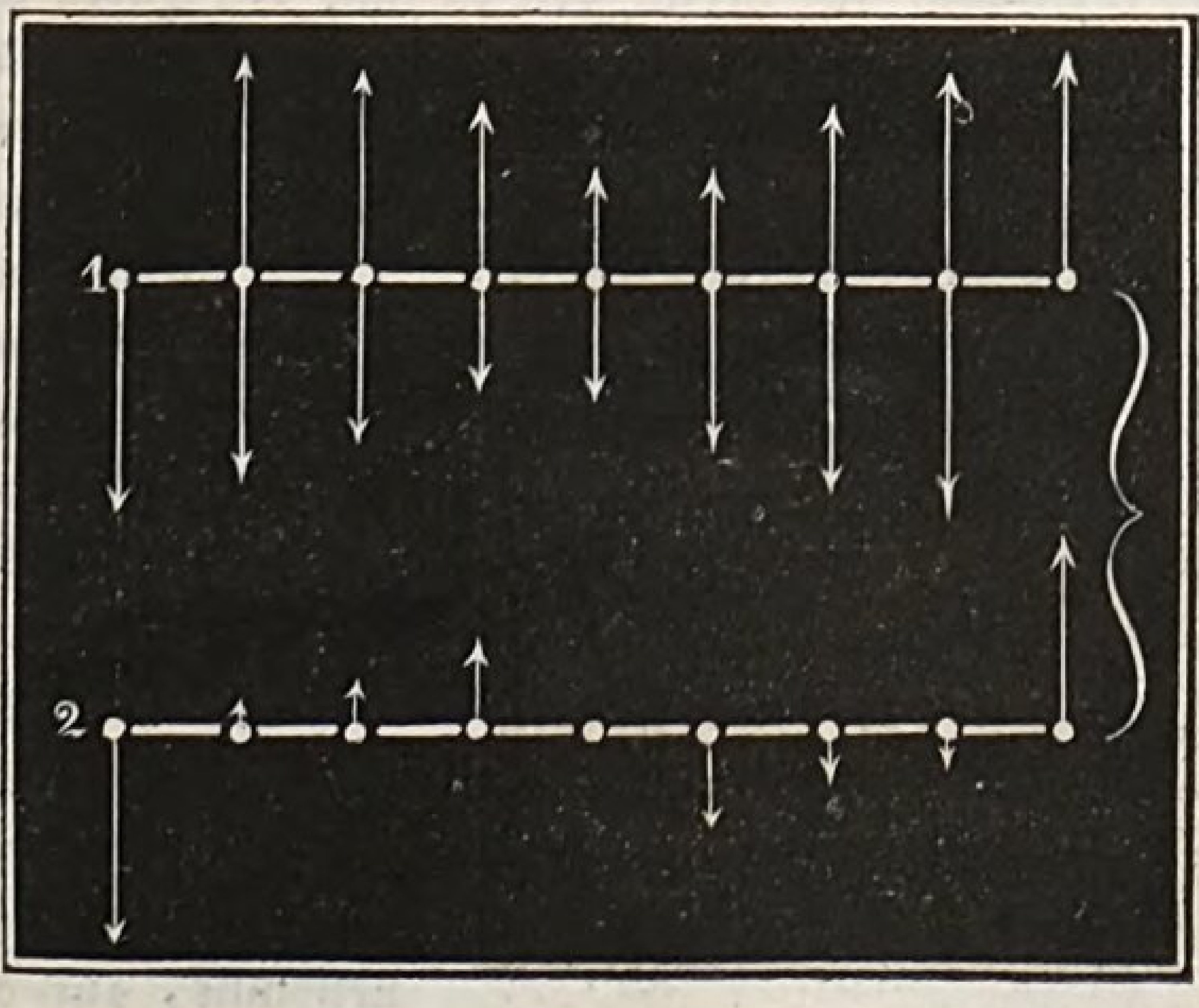
Fig. 171.



1) Die magnetiſche Polarität ſey in allen Partikelchen der ganzen Länge des Stabes nach gleich ſtark entwickelt, ſo ſtellt uns 1. Fig. 171 den Zuſtand eines ſolchen Stabes dar,

wenn wir durch die aufwärts gerichteten Pfeilchen den Nord-, durch die abwärts gerichteten den Südmagnetismus darſtellen. Da nun in jedem dieſer Punkte gleich viel Nordmagnetismus (dem Theilchen links zugehörig) und gleichviel Südmagnetismus (dem Theilchen rechts zugehörig) zuſammenfällt, ſo kann in allen dieſen Punkten kein freier Magnetismus auftreten, und wenn wir nur den freien Magnetismus berückſichtigen, ſo ſtellt uns alſo 2 Fig. 171 den Zuſtand des Stabes vor. Freier Magnetismus zeigt ſich nur an den Endflächen, im übrigen iſt der ganzen Länge des Stabes nach kein freier Magnetismus mehr vorhanden. Ein ſolcher Magnet müßte alſo nach Außen gerade ſo wirken, als ob ſeine Endflächen allein magnetiſch wären, und zwar die eine mit Nord- die andere mit Südmagnetismus beladen. Die Pole eines ſolchen Magneten würden alſo auch genau auf die Endflächen fallen. Man weiß, daß dies bei gewöhnlichen Magneten nicht ſtattfindet, daß bei dieſen die Pole ſtets mehr nach Innen liegen. Dagegen iſt die Wirkung einer elektromagnetiſchen Spirale gerade ſo, wie ſie bei einem Magnete ſeyn würde, deſſen einzelne Theilchen alle ein gleich ſtarkes Moment haben. Vielleicht hängt damit zum Theil die von Poggendorff gemachte Beobachtung des verſchiedenen Verhaltens hohler Magnetſtäbe und galvaniſcher Schraubendrähte zuſammen. Schiebt man vorſichtig eine etwa 9 Linien lange magnetiſche Nähnadel in die mit einer Glasröhre ausgefütterte Höhlung eines hohlen Magnetſtabes, welcher aufrecht ſteht, und zwar ſo, daß Nadel und Stab die gleichnamigen Pole nach Oben gekehrt haben, ſo wird die Nadel nicht herabfallen, ſondern zum Theil aus dem Magneten hervorragend, oben ſchweben. Man kann ſie ſogar eine Strecke hinunterdrücken, und ſie ſteigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem galvaniſchem Schraubendraht aber begiebt ſich die Nadel ſogleich in die Mitte und bleibt dort ſchweben, wenn der Strom ſtark genug iſt.

Fig. 172.

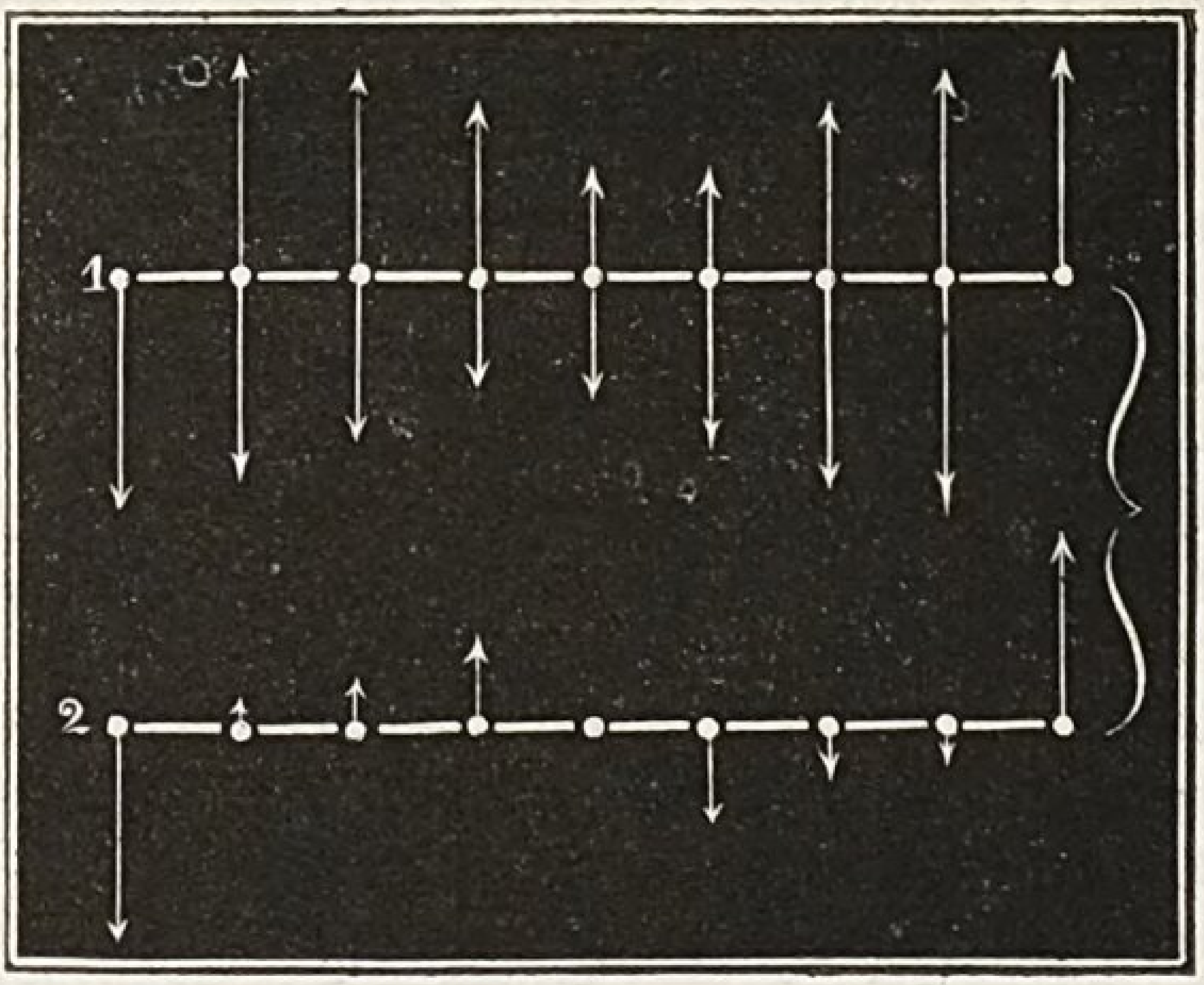


Eine nähere Unterſuchung dieſer

Erſcheinung behufs ihrer theoretiſchen Erläuterung wäre ſehr zu wünſchen.

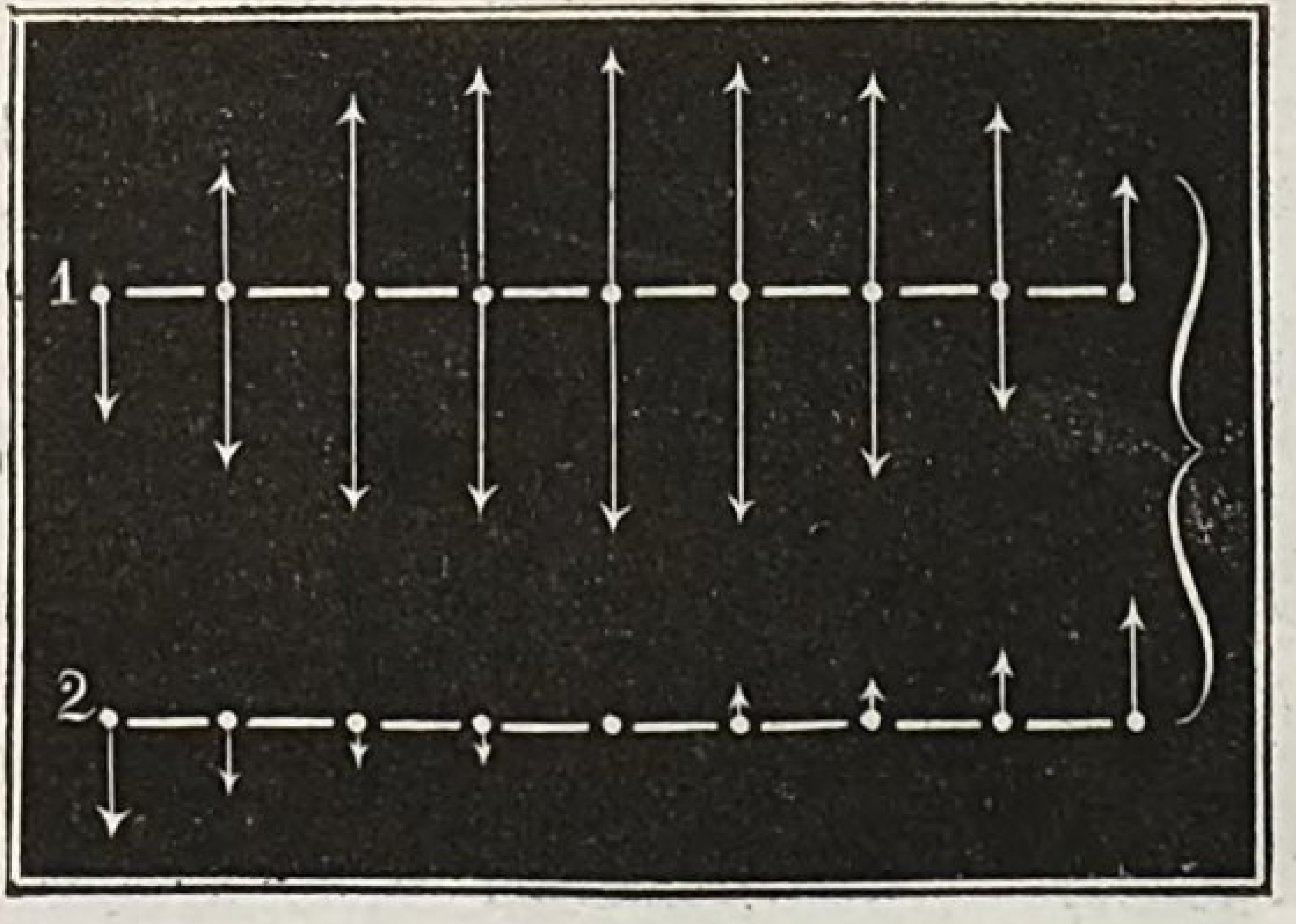
2) Wenn die magnetiſche Polarität der Theilchen in der Mitte am ſchwächſten entwickelt wäre und gegen die Enden hin zunähme, wie dies in 1 Fig. 173 verſinnlicht iſt, ſo würde ſich eine Vertheilung des freien Magnetismus ergeben, wie ſie in 2 Fig. 173 dargeſtellt iſt. In der Mitte des Magneten würde der freie Magnetismus 0 ſeyn und von dort gegen die Enden anfangs zu- und dann wieder abnehmen, um in den entgegengeſetzten Magnetismus überzugehen; auf der einen Hälfte des Stabes wäre alſo freier Nordmagnetismus, während die Endfläche ſüdmagnetiſch iſt; die andere Hälfte mit freiem Südmagnetismus hätte ein nordmagnetiſches Ende. Eine ſo ſonderbare Vertheilung des freien Magnetismus findet bekanntlich bei normal magnetiſirten Stahlſtäben durchaus nicht Statt.

Fig. 173.



3) Nehmen wir an, die magnetiſche Polarität der Theilchen ſey in der Mitte am ſtärkſten entwickelt, und nehme von da nach den Enden hin ab, wie es 1 Fig. 174 verſinnlicht, ſo ergiebt ſich daraus eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie ſie in 2 Fig. 174 dargeſtellt iſt. In der Mitte iſt der freie Magnetismus ebenfalls 0; von da wächſt auf der einen Seite der freie Nordmagnetismus, auf der andern der freie Südmagnetismus bis ans Ende.

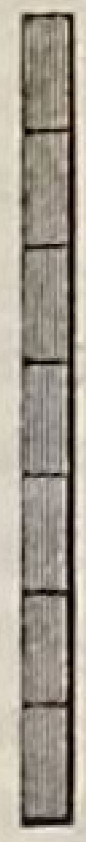
Fig. 174.



Da dies in der That die Art der Vertheilung des freien Magnetismus in normal magnetiſirten Stahlſtäben iſt, ſo ſind wir zu der Annahme berechtigt, daß in ihnen die magnetiſche Polarität der Theilchen in der Mitte ſtärker entwickelt iſt, als gegen die Enden hin.

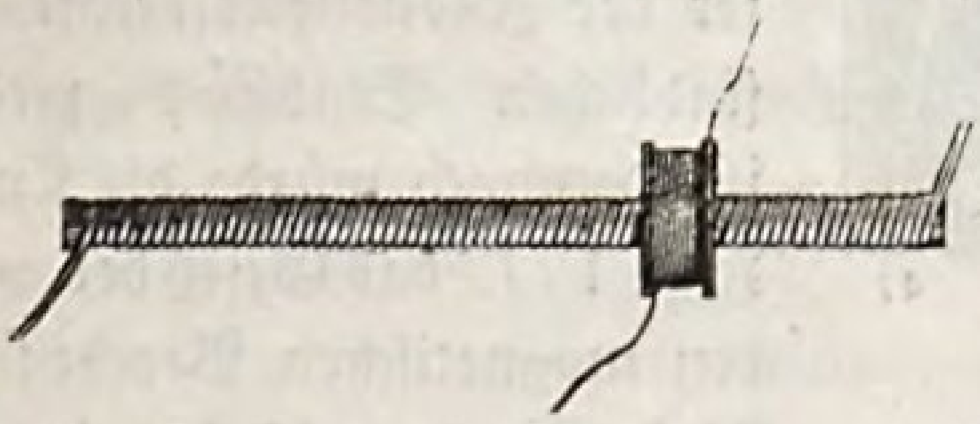
Für die Richtigkeit dieſer Anſicht ſpricht auch die Thatſache, daß wenn man eine Reihe von Stahlſtäbchen hinter einander legt, wie es Fig. 175 angedeutet iſt, und ſie dann ſo behandelt, wie einen einzigen langen Stahlſtab, den man magnetiſiren will, daß alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen einen um ſo ſtärkeren Magnetismus zeigen, je näher ſie während des Streichens der Mitte lagen.

Fig. 175.



Auch in Elektromagneten findet dieſe Vertheilungsweiſe Statt, auch hier ſind die magnetiſchen Polaritäten der einzelnen Theilchen in der Mitte des Stabes ſtärker entwickelt als an den Enden. Jakobi und Lenz haben dies auf experimentellem Wege nachgewieſen (P. A. LXI. 271.). Die Eiſenſtäbe wurden in eine Magnetiſirungsſpirale geſchoben, welche nur durch eine Lage eines $^3/_4$ Linien dicken Kupferdrahtes gebildet war. Auf dieſer Magnetiſirungsſpirale war nun eine 1 Zoll lange aus 123 Windungen eines dünnen Drahtes beſtehende Inductionsſpirale verſchiebbar, wie es Fig. 176 angedeutet iſt. Der durch die Unterbrechung des Magnetiſirungsſtromes in der kurzen Spirale hervorgerufene, größtentheils von dem verſchwindenden Magnetismus des Eiſenſtabes herrührende Inductionsſtrom zeigte ſich am ſtärkſten, wenn die Inductionsſpirale ſich in der Mitte zwiſchen den beiden Enden des Eiſenſtabes befand; er nahm um ſo mehr ab, je näher die Inductionsſpirale dem Ende des Stabes war.

Fig. 176.



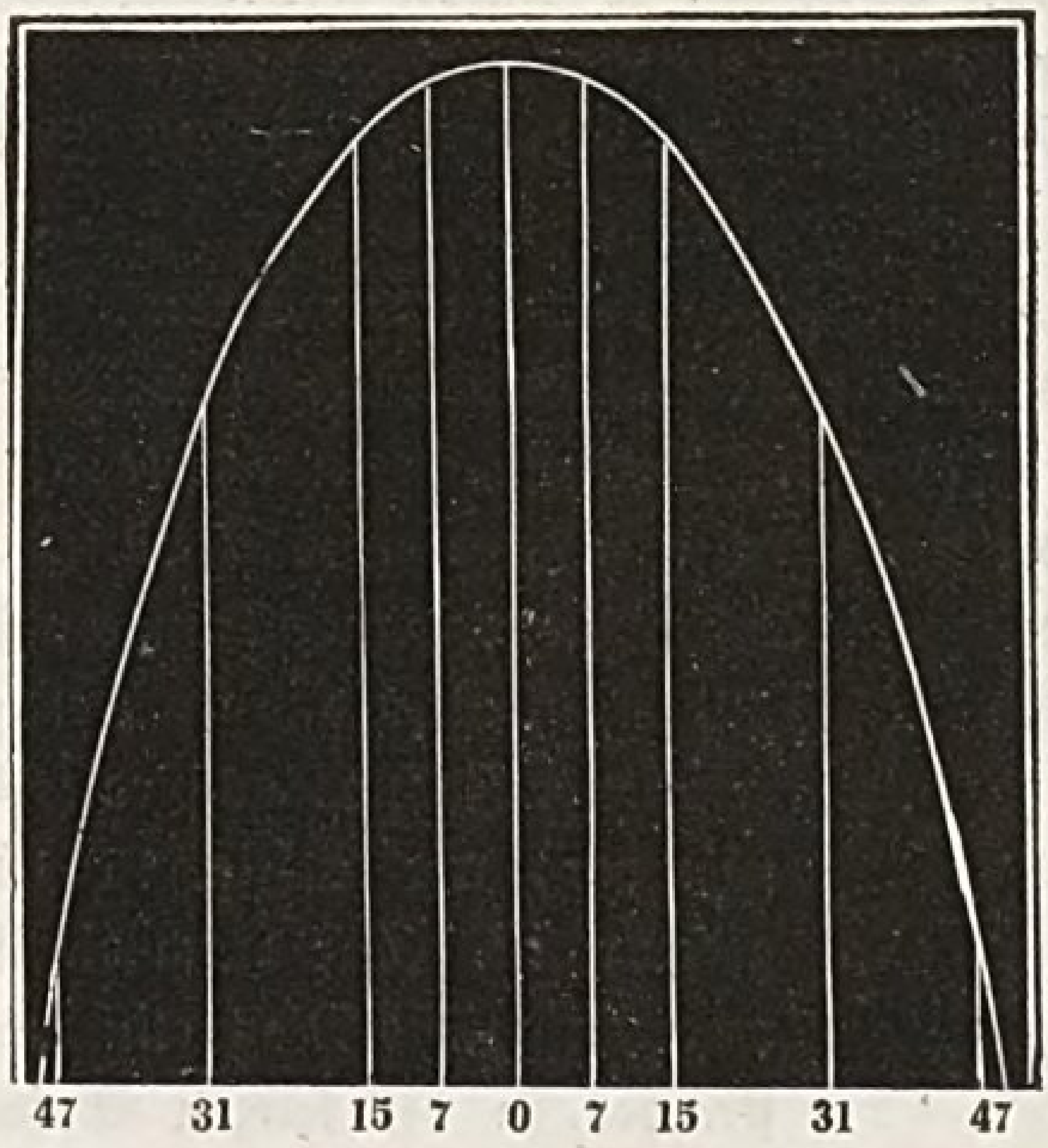
Auf dieſe Weiſe wurden Verſuche mit vielen Eiſenſtäben von verſchiedener Länge angeſtellt, die folgende Tabelle theilt als Beiſpiel die Reſultate der Verſuche mit den längſten dieſer Stäbe (4′ lang) im Auszug mit.

Entfernung der Mitte der Inductionsſpirale von der Mitte der Stange.	Halber beobachteter Ablenkungswinkel $^1/_2$ α.	$\sin. \, ^1/_2 \, \alpha$.
0	31° 48′	0,527
7	31 22	0,520
15	29 21	0,490
31	21 10	0,361
47	3 57	0,069

Die Einheit, nach welcher die Entfernungen in der erſten Columne gezählt ſind, iſt ½ Zoll. Die Zahlen der zweiten Columne ſind das Mittel aus zwei Beobachtungen, welche in gleichen Entfernungen von der Mitte auf der rechten und linken Seite angeſtellt wurden. Die Tabellen des Originals enthalten die Beobachtungen für die Entfernungen 1, 3, 5 u. ſ. w., kurz für alle ungeraden Werthe die Entfernung von der Mitte bis ans Ende.

Nach obiger Tabelle iſt die graphiſche Darſtellung, Fig. 177. entworfen, und zwar ſind die Abſciſſen der Entfernung von der Mitte, die Ordonaten den entſprechenden Werthen von *sin.* ½ α proportional.

Fig. 177.



Lenz und Jakobi halten ſich für berechtigt, anzunehmen, daß der gemeſſene Inductionsſtrom proportional ſey der ganzen Quantität des magnetiſchen Fluidums, welches in dem unmittelbar unter der Inductionsſpirale befindlichen Stabſtück zerlegt iſt, demnach würde die Kurve Fig. 177. das Geſetz der wahren magnetiſchen Vertheilung in einem 4füßigen Magneten darſtellen. Dieſe Kurve erſcheint in der That nahe zu als eine Parabel, deren Gleichung

$$z = a - bx^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

iſt, in welcher z die Stärke der magnetiſchen Vertheilung in einem Querſchnitt des Eiſenſtabes bezeichnet, deſſen Entfernung von der Mitte x iſt. a und b ſind Conſtante, welche für jeden Stab beſonders beſtimmt werden müſſen.

Dieſe Formel ſtimmt für die mittleren Theile des Stabes ziemlich gut mit den Beobachtungen überein, gegen das Ende des Stabes aber werden die Differenzen zwiſchen Rechnung und Beobachtung zu groß, als daß man ſie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern ſetzen könnte.

V. Rees hat das Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in einem Magnetſtab aus den Beobachtungen abzuleiten geſucht, welche Coulomb über Vertheilung des freien Magnetismus in magnetiſirten Stahldrähten angeſtellt hat, und iſt auf dieſe Weiſe zu der Gleichung

$$z = a - b\,(m^x + m^{-x}), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

der Gleichung einer Kettenlinie gelangt, in welcher z und x dieſelbe Bedeutung haben wie in Gleichung 1) Seite 524, a, b und m aber drei Conſtante ſind, die für jeden Magnetſtab beſonders beſtimmt werden müſſen.

Van Rees hat nun gezeigt, daß auch für elektromagnetiſche Eiſenſtäbe die Kettenlinie das Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus weit treuer darſtelle, als die Parabel, und die von Lenz und Jakobi angeſtellten Beobachtungen weit beſſer mit Gleichung 2) als mit Gleichung 1) übereinſtimmen.

Auch für Stahlmagnete wurde von V. Rees die Induction angewandt, um das Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus experimentell zu beſtimmen. Da man aber den Magnetismus eines Stahlmagneten nicht plötzlich vernichten kann, wie beim Elektromagneten, ſo muß die Induction durch Bewegen der Inductionsſpirale hervorgebracht werden. V. Rees verfuhr ſo, daß er die Inductionsſpirale, von der Mitte des Magnetſtabes, ſo wie von verſchiedenen andern Stellen ausgehend, über das nächſte Ende des Stabes ſchnell abſtreifte; und die entſprechende Ablenkung eines in den Schließungsbogen der Inductionsſpirale eingeſchalteten Multiplicators beobachtete; die folgende Tabelle giebt die Reſultate, welche er mit einem 50 Centimeter langen Magnetſtabe und einer 20 Millimeter langen Inductionsſpirale erhielt.

Entfernung von der Mitte.	Ablenkung der Nadel.
0	46° 38′
4	45 56
8	44 19
16	37 24
30	9 30

Aehnliche Verſuchsreihen hat er noch mit anderen Magnetſtäben angeſtellt.

Bezeichnet man die Entfernung der Mitte der Inductionsſpirale von der Mitte des Stabes, unmittelbar vor den Beginn des Abſtreifens mit x, den Sinus des entſprechenden halben Ablenkungswinkels mit z, ſo paſſen die zuſammengehörigen Werthe von x und z recht gut in die Gleichung 2). V. Rees nimmt nun an, daß der Sinus des Ablenkungswinkels ein Maaß ſey für das magnetiſche Moment derjenigen Stelle des Magnetſtabes, welche von der Spirale bedeckt wurde, als man dieſelbe abzuſtreifen begann. Eine Rechtfertigung dieſer Anſicht hat V. Rees

nicht für nöthig gehalten, mir aber ſcheint ihre Zuläſſigkeit noch ſehr zweifelhaft, denn auf die Stärke des Inductionsſtromes wirken alle Stellen des Stabes, über welche die Spirale hingeſchoben, nicht bloß die, von welchen aus ſie weggezogen wird. Ebenſo halte ich es nicht für erwieſen, daß bei den Verſuchen der Petersburger Phyſiker der Inductionsſtrom lediglich von der bedeckten Stelle der Spirale herrührt; ſie führen zwar zur Begründung ihrer Anſicht die Thatſache an, daß die Spirale, nur etwas über das Ende des elektromagnetiſchen Eiſenſtabes hinausgeſchoben, kaum einen merklichen Inductionsſtrom zeigt; wenn aber auch das ſchwach magnetiſche Stabende in der ihm nahe gehaltenen Spirale nur einen ſehr ſchwachen Strom erzeugt, ſo folgt daraus noch keineswegs, daß man den Einfluß der benachbarten Schichten auch dann vernachläſſigen dürfe, wenn die Spirale wirklich auf den Stab aufgeſchoben iſt, einmal, weil man es hier mit ſtärker magnetiſchen Schichten zu thun hat, als am Stabende, und dann, weil die Wirkungen der benachbarten Schichten auf der einen und der andern Seite ſich unterſtützen. Es iſt demnach allerdings noch zweifelhaft, ob die Methode der Inductionsſtröme, wie ſie Lenz und Jakobi, oder wie ſie V. Rees anwandte, unmittelbar zum Geſetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in Elektromagneten oder in Stahlmagneten führen kann.

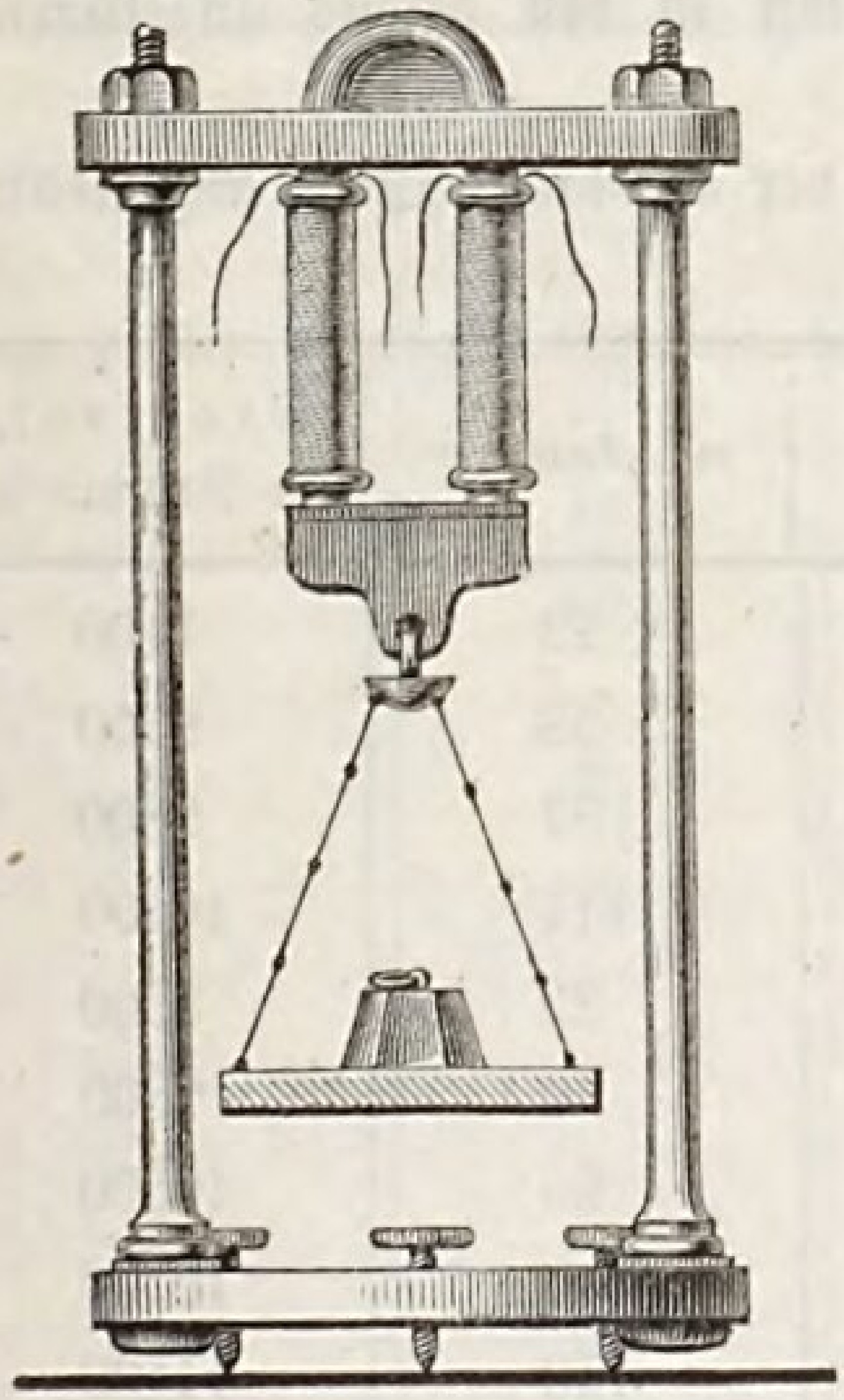
Meine oben, in Paragraph 194 angeführten Verſuche ſcheinen ebenfalls darauf hinzudeuten, daß in einem elektromagnetiſchen Stabe der Magnetismus keineswegs der ganzen Länge nach gleichförmig entwickelt iſt; wäre dies der Fall, ſo müßte der Factor b der Stablänge proportional ſein, während ich ihn für den längeren Stab verhältnißmäßig kleiner gefunden habe. Höchſt wahrſcheinlich würden ſolche Verſuche, mit Stäben und Spiralen von ſehr verſchiedener Länge ausgeführt, Anhaltspunkte liefern, um auf das Geſetz der wahren magnetiſchen Vertheilung in Elektromagneten einen Schluß zu ziehen.

203 **Neue Verſuche über die Tragkraft der Elektromagnete.** Nachdem meine Unterſuchungen über das magnetiſche Moment von Elektromagneten zur Ermittelung wichtiger Geſetze geführt hatte, ſah ich mich veranlaßt auch über die Tragkraft der Elektromagnete neue Verſuche anzuſtellen.

Da die Mittel unſerer Anſtalt es nicht erlaubten, zur Meſſung der Tragkraft von Elektromagneten ſo genau gearbeite Hebelapparate anzuwenden, wie ſie von Lenz und Jakobi ſowohl als auch von Pfaff benutzt und in den bereits citirten entſprechenden Abhandlungen beſchrieben wurden, ſo beſchränkte ich meine Verſuche auf kleinere hufeiſenförmige Elektromagnete, bei welchen ein directes Anhängen der Laſt noch

wohl thunlich war. Der Apparat, welchen ich anwandte und welcher auch für Vorleſungsverſuche ganz zweckmäßig ſein dürfte, iſt Fig. 178 abgebildet.

Fig. 178.



In einem runden oder ovalen Brette, welches mit drei Stellſchrauben verſehen iſt, ſind zwei eiſerne Säulchen befeſtigt, welche Oben ein Querſtück von Holz tragen; durch zwei Löcher deſſelben iſt das Uförmige weiche Eiſen geſteckt, und in ſeiner Mitte noch durch ein halbkreisförmiges Holzklötzchen getragen.

Die Verſuche erſtrecken ſich auf ſechs Hufeiſen; drei davon, I., II. und III. hatten einen Durchmeſſer von 10 Millimeter, während die drei folgenden IV., V. und VI. nur 6,5 Millimeter Durchmeſſer hatten. Die unter dem Tragbrettchen hervorragenden Schenkel hatten folgende Längen

I. und IV.	. . .	16,5 Centimeter
II. und V.	. . .	8,5 »
III. und VI.	. . .	5 »

Auf dieſe Schenkel wurden nun die Magnetiſirungsſpiralen aufgeſchoben; ſie waren auf Hülſen von Holz gewickelt, die einen inneren Durchmeſſer von 12^{mm} hatten; ſie wurden mit Hülfe von Korken auf den dünneren Eiſen befeſtigt. Solcher Spiralen wurden 4 Paar in Anwendung gebracht, welche folgende Einrichtung hatten.

I.	beſtand	aus	2 Lagen,	jede	von	123 Windungen,	Länge	14 Centimeter.
II.	»	»	4 »	»	»	57 »	»	6,8 »
III.	»	»	2 »	»	»	51 »	»	6,8 »
IV.	»	»	2 »	»	»	24 »	»	3 »

Außer den Magnetiſirungsſpiralen war natürlich auch noch die Tangentenbuſſole in den Schließungsbogen der Kette eingeſchaltet.

Der Anker war ähnlich geformt, wie bei den Logeman'ſchen Magneten, über das Tragbrett hingen Schnüre herab, welche den Anker gleich nach den Abreißen auffangen mußten. Die Wagſchale war von einer kleiner Brückenwage genommen. Anker und Wagſchale zuſammen hatten ein Gewicht von 375 Gramm.

Unter dem Brette der Wagſchale war ein Holzklotz angebracht, ſo daß beim Abreißen des Ankers die Wagſchale aufgefangen wurde, und zwar noch um etwas früher, als der Anker ſelbſt in den bereits angeführten Schnüren.

Die folgende Tabelle giebt die Reſultate der auf dieſe Weiſe angeſtellten Verſuche.

Eiſen.	Spirale.	v	n . $tang. v$	Tragkraft in Grammen.
I.	I.	2,5	22	7100
—	—	6,1	53	8500
—	—	10,1	87	9800
—	—	13,4	117	10400
—	II.	3,6	29	8300
—	—	6°	48	9300
—	—	11°	88	10500
—	—	14,5	118	10700
—	—	18,2	150	11100
—	III.	2°	7	3900
—	—	4,4	16	6500
—	—	6	21	7500
—	—	11,75	43	9000
—	—	13	47	9600
—	—	15	54	10000
—	IV.	2,75	5	1900
—	—	3,75	6	3600
—	—	6,25	10	5300
—	—	17,1	29	7900
—	—	18°	31	8400
II.	II.	3,5	28	7400
—	—	6,25	50	9100
—	—	11,5	93	9700
—	—	15	120	10400
—	III.	3,75	13	4600
—	—	5,75	21	5700
—	—	9,25	33	7200
—	—	17	61	8300
III.	IV.	4,5	8	3100
—	—	13°	22	7400
—	—	20	26	8400

Eiſen.	Spirale.	*n*	*n* . *tang v*	Tragkraft in Grammen.
IV.	I.	2,5	22	2300
—	—	4,1	35	3100
—	—	5,5	47	3700
—	—	6,4	54	4000
—	—	9,5	72	4600
—	—	14	122	5200
—	—	19	169	5400
—	II.	2	16	2000
—	—	3,25	26	3000
—	—	6	48	4000
—	—	8,75	70	4600
—	—	13,5	109	5300
—	—	18,5	152	5500
—	III.	7	25	2400
—	—	11,25	41	3800
—	—	15,25	56	4500
—	—	21	78	5000
V.	II.	3,75	30	3200
—	—	7,5	60	4700
—	—	10	80	5100
—	—	13,5	109	5400
—	III.	10,4	37	3900
—	—	13,25	48	4400
—	—	17,75	65	4900
—	IV.	4,5	8	1100
—	—	12	20	2900
—	—	14,5	25	3300
—	—	19	33	3700
VI.	—	4	7	1300
—	—	12	20	3400
—	—	19	33	3700

Die dritte Columne dieſer Tabelle enthält unter v die an der Tangentenbuſſole abgeleſenen Winkel, die vierte aber enthält das Product der trigonometriſchen Tangente der Ablenkungswinkel mit der Anzahl der Windungen, in welchen der Strom um das Eiſen herumgeführt iſt; die Spirale Nr. I. z. B. hat 2 Lagen von 123 Windungen, alſo zuſammen 246 Windungen. Nun aber ſteckt an jedem Schenkel des Eiſens eine ſolche Spirale, folglich iſt n in dieſem Falle 492. Für die Spirale II. iſt $n = 456$; für III. iſt $n = 204$, für IV. iſt $n = 96$.

Wir können das Product n $tang.$ v füglich mit dem Namen der magnetiſirenden Kraft bezeichnen.

Für die dicken und dünneren Elektromagnete wurde derſelbe Anker angewandt.

Die letzte Columne enthält die Angabe des Gewichtes (Gewicht des Ankers der Wagſchale und des auf dieſelbe gelegten Gewichtes) in Grammen ausgedrückt, bei welchem der Anker abriß.

Ein oberflächlicher Blick auf dieſe Tabelle zeigt ſchon, daß die Tragkraft auch nicht entfernt dem Quadrat der magnetiſirenden Kraft proportional iſt.

204 **Einfluß der Länge des Eiſens und der Spiralen auf die Tragkraft.** Betrachten wir die Verſuche, welche mit dem Eiſen Nr. I, alſo dem längſten unter den drei dickern Eiſen angeſtellt wurden, ſo ſehen wir, daß bei gleicher magnetiſirenden Kraft nahe zu dieſelbe Tragkraft erzielt wird, mag man nun eine längere oder kürzere Spirale anwenden, was noch deutlicher hervortritt, wenn man dieſe Tabelle graphiſch vorzeichnet. Die kürzeſte aller Spiralen Nr. IV. giebt für die magnetiſirende Kraft 6 die Tragkraft 3600, während mit der doppelt ſo langen Spirale Nr. III. die Tragkraft 3900 mit der magnetiſirenden Kraft 7 erhalten wird. — Für die magnetiſirende Kraft 29 erhält man nahe zu gleiche Tragkräfte mit der IV. und II. Spirale. — Die längſte Spirale ſcheint verhältnißmäßig die geringſte Wirkung zu geben, denn während bei der dritten Spirale den magnetiſirenden Kräften 21 und 54 die Tragkräfte 7500 und 10000 entſprechen, finden wir für die lange Spirale für die magnetiſirenden Kräfte 22 und 53 nur die Tragkräfte 7100 und 8500; übrigens mögte das Zurückbleiben in der Wirkung der langen Spirale gegen die übrigen in den Beobachtungsfehlern ſeinen Grund haben, zu welcher Annahme wir um ſo mehr berechtigt ſind, als ſich bei den Beobachtungsreihen mit dem längeren dünnen Eiſen Nr. IV. die lange Spirale Nr. I. ebenſo wirkſam zeigt als die andern, und ferner, weil auch die Spiralen Nr. II. und III. in ihrer Wirkung keineswegs gegen die der kürzeſten Nr. IV. zurückbleiben. Unſere Verſuchsreihen rechtfertigen alſo den Schluß:

Wenn um ein Uförmig gebogenes Eiſen ein galvaniſcher Strom in einer beſtimmten Anzahl von Windungen herumgeführt wird, ſo erlangt es dieſelbe Tragkraft, mögen nun dieſe Windungen die ganze Länge der Schenkel bedecken, oder nur über einen Theil der Schenkel in mehreren Lagen übereinander liegen.

So haben die Spiralen I. und II. faſt gleich viel Windungen, welche bei I. eine lange Spirale mit zwei Lagen, bei II. eine kürzere mit 4 Lagen bilden; im Effect ſind ſich beide Spiralen gleich.

Auch iſt es ziemlich gleichgültig, an welcher Stelle der Schenkel die Spiralen angebracht ſind. Das Eiſen Nr. I. erhielt durch die kurze Spirale Nr. IV. bei gleicher Stromſtärke faſt genau dieſelbe Tragkraft, mogte nun die Spirale ganz unten bei den Polen ſich befinden, oder möglichſt weit hinauf bis an das Tragbrett geſchoben ſeyn.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Länge der Schenkel des Eiſens auf die Tragkraft ausübt. — Die gleich dicken aber ungleich langen Eiſen, Nr. IV., V. und VI. zeigen bei gleicher magnetiſirender Kraft nahezu gleiche Tragkraft; bei den dickeren Eiſen ſehen wir freilich II. gegen I. zurückbleiben, da aber das kürzeſte der dickeren Eiſen Nr. III. kein ſolches Zurückbleiben gegen Nr. I, zeigt, ſo dürfen wir die geringere Wirkung des Eiſens Nr. II. wohl zufälligen Umſtänden zuſchreiben; laſſen wir aber die mit dem Eiſen Nr. II. angeſtellten Verſuche unberückſichtigt, ſo führen uns alle übrigen Verſuche zu dem Schluß:

Die Länge der Schenkel eines Elektromagneten hat unter übrigens gleichen Umſtänden keinen Einfluß auf die Tragkraft deſſelben.

Die längern Schenkel gewähren nur inſofern einen Vortheil, als ſie mehr Drahtwindungen aufnehmen können.

Beziehung der Tragkraft zu den übrigen Geſetzen des Elektromagnetismus. 205 Nachdem die obigen Verſuche einige Anhaltspunkte zur Ermittelung der Geſetze der Tragkräfte geliefert hatten, lag es nun nahe, ſie mit dem durch die Gleichung auf Seite 507 gegebenen Geſetz des elektromagnetiſchen Momentes von Eiſenſtäben zu vergleichen. — Während in jener Gleichung die Factoren a und b noch von der Länge der Elektromagnete abhängen, werden in einer entſprechenden Gleichung für die Tragkräfte dieſe Factoren von den Längendimenſionen unabhängig ſeyn, wie dies aus den Beobachtungen des vorigen Paragraphen hervorgeht.

Lenz und Jakobi nahmen an, daß die Tragkraft der Elektromagnete dem Quadrat des erregten Magnetismus proportional ſeyn müſſe, und dieſe Annahme iſt auch ohne allen Zweifel richtig, nur iſt die Stärke des Mag-

netismus nicht der Stromſtärke proportional, wie dies jetzt genügend dargethan iſt. Iſt aber die Tragkraft t dem Quadrat des im Eiſen erregten Magnetismus m proportional, ſo können wir in unſre Gleichung $\sqrt{t}$ ſtatt m ſetzen, und erhalten ſo die Gleichung

$$s = a\,d^{3/2}\ tang.\ \frac{\sqrt{t}}{b\,d^2} \quad . \ . \ . \ . \ . \ 1),$$

welche die Beziehung zwiſchen Stromſtärke und Tragkraft der Elektromagnete darſtellt. Es iſt nun zu unterſuchen, in wiefern unſere Verſuche über Tragkraft mit dieſer Formel harmoniren. Setzen wir $a = 0{,}603$, $b = 0{,}02035$, ſo wird für die dünneren Hufeiſen die Gleichung

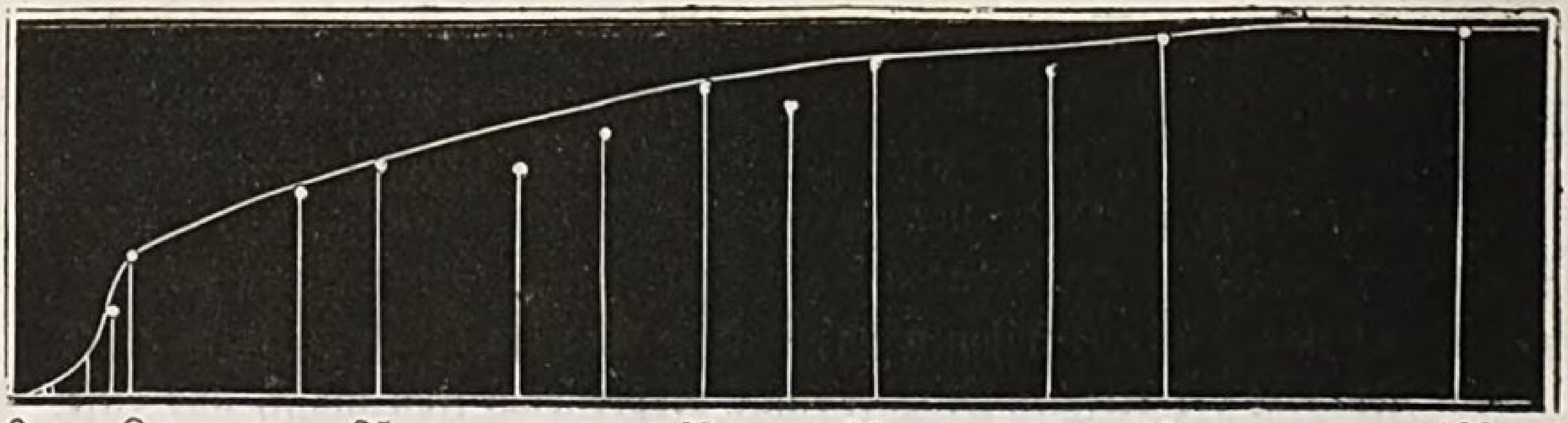
$$s = 10\ .\ tang.\ \frac{\sqrt{t}}{0{,}86} \quad . \ . \ . \ . \ . \ 2);$$

ſetzen wir für s die magnetiſirende Kraft, d. h. die Stromſtärke multiplicirt mit der Anzahl der Windungen der Spirale, ſo ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von s und t, denen zur Vergleichung die beobachteten Werthe von t beigeſetzt ſind.

s	t		
	berechnet.	beobachtet.	Differenz.
2	94 Gr.	—	—
5	529	—	—
8	1109	1100	9
25	3434	3300	134
48	4529	4400	129
60	4761	4700	61
100	5256	—	—
152	5506	5500	6

Nach dieſer Gleichung iſt denn auch die Kurve Fig. 179 conſtruirt; als

Fig. 179.



Abſciſſen ſind die Werthe von s, als Ordinaten die berechneten Werthe von t aufgetragen, um leichter überſehen zu können, in wiefern ſich die Gleichung der Beobachtung anſchmiegt, iſt auch eine Reihe beobachteter Werthe von t in derſelben Figur aufgetragen und durch Punkte bezeichnet worden. — Die Conſtanten unſerer Gleichung, 10 und 0,86 ſind abſichtlich ſo gewählt, daß die Curve nicht etwa mitten durch die beobachteten Punkte hindurchgeht, ſondern über die höchſten hinweggeführt wird, weil begreiflicherweiſe diejenigen Beobachtungen als die beſten anzuſehen ſind, welche relativ die größten Tragkräfte liefern. Wie man ſieht, ſchließt ſich die Curve dieſen relativ größten beobachteten Tragkräften recht gut an.

Für die dickeren Stäbe paßt die Gleichung

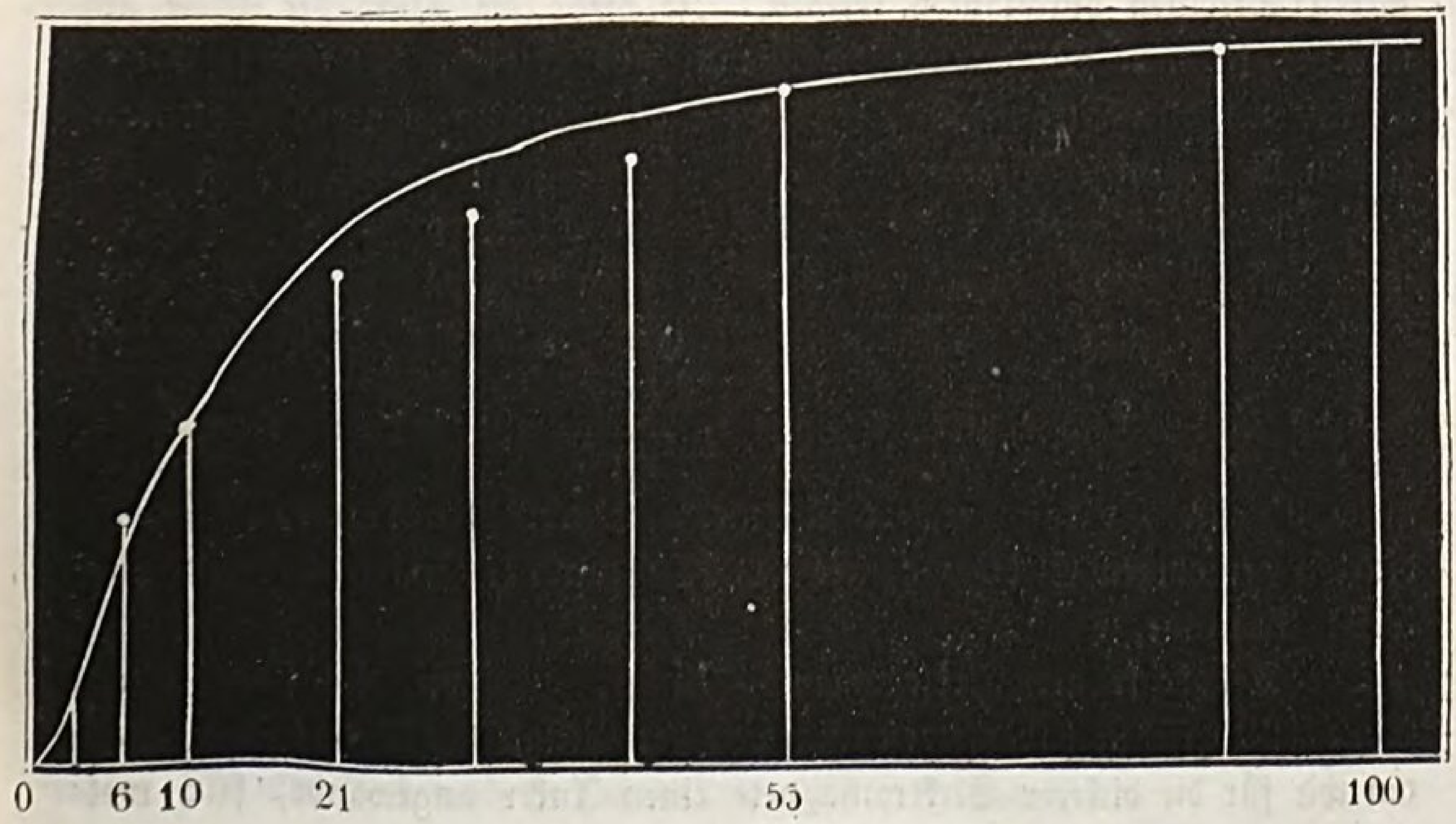
$$s = 5{,}5 \; tang. \; \frac{\sqrt{t}}{1{,}2} \quad . \; . \; . \; . \quad 3).$$

In der folgenden Tabelle ſind einige nach dieſer Gleichung berechnete Werthe von t mit den beobachteten zuſammengeſtellt.

s	t	
	berechnet.	beobachtet.
6	3249	3600
21	8154	7500
54	10201	10000
118	10983	10700
150	11130	11100

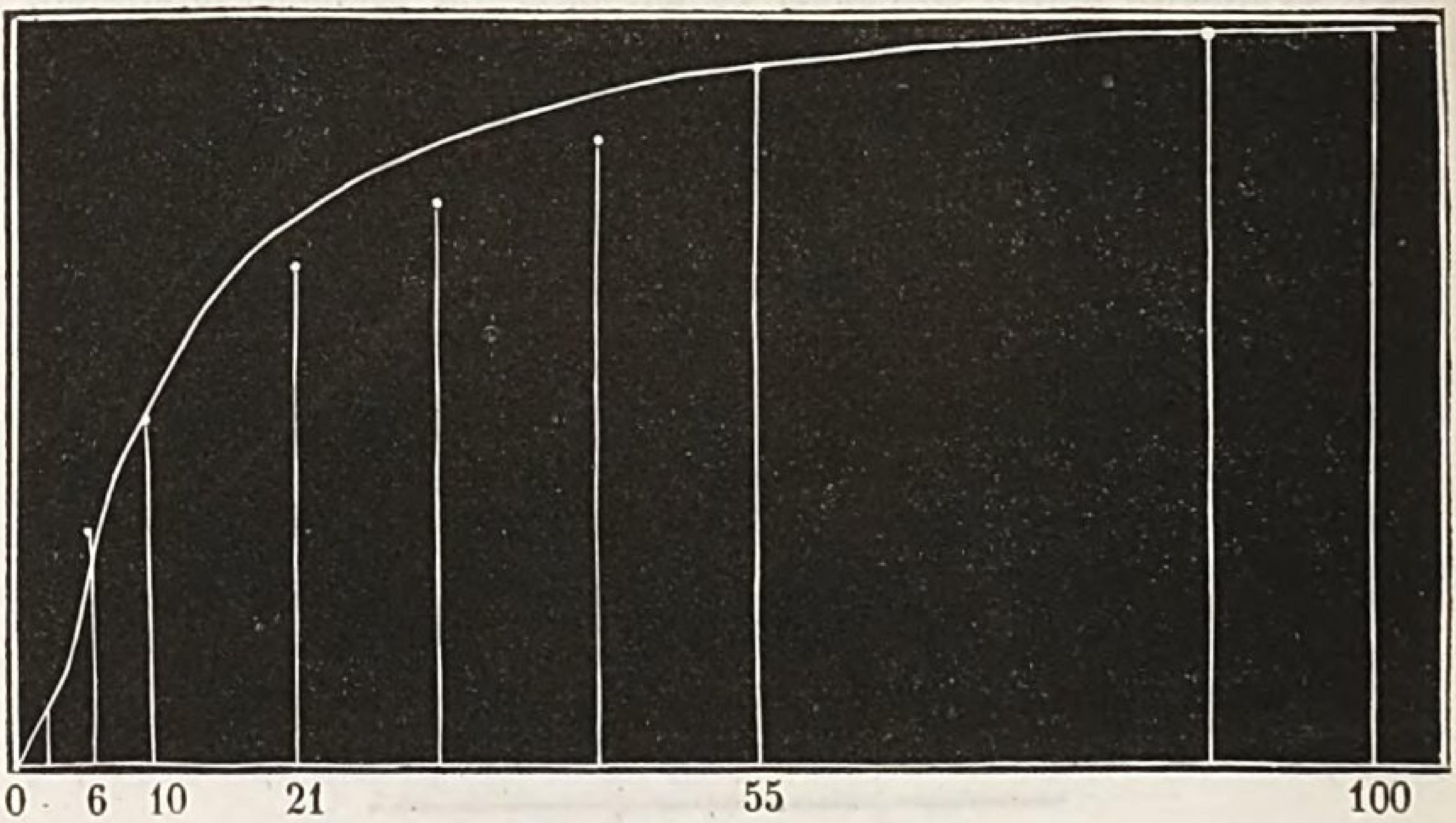
Die Curve, Fig. 180 iſt nach der Gleichung 3 in demſelben Maßſtab

Fig. 180.



conſtruirt, wie Fig. 179. Zur Vergleichung ſind auch einige beobachtete Punkte aufgetragen. Die Conſtanten der Gleichung 3 hätten ſich wohl ſo beſtimmen laſſen, daß ſich die Curve noch etwas beſſer den Beobachtungen

Fig. 181.



anſchlöſſe, da jedoch die Gleichung nur eine ganz ſpecielle Bedeutung hat, ſo mag dieſe Annäherung wohl genügen.

Es ergiebt ſich nun aus dieſen Verſuchen unzweifelhaft, daß die Tragkräfte der Elektromagnete keineswegs immer dem Quadrate der Stromſtärke proportional ſind. Dieſe Proportionalität wird ſich nun da finden, wo ein dickes Eiſen mit wenig Windungen umgeben iſt, welche von ſchwächeren Strömen durchlaufen werden. Je mehr die Dicke der Eiſen abnimmt, je mehr Windungen die Magnetiſirungsſpirale hat und je ſtärker die angewandten Ströme ſind, deſto mehr wird man ſich von dieſem quadratiſchen Verhältniſſe entfernen.

Unſere Verſuche zeigen ferner, daß jedem *Elektromagnet* ein (wie wir ſogleich ſehen werden, mit der Natur des Ankers veränderliches) *Maximum der Tragkraft* zukommt. Bezeichnen wir dieſes Maximum mit t', ſo muß für die dünneren Elektromagnete $\frac{\sqrt{t'}}{0,86}$ und für die dickeren $\frac{\sqrt{t'}}{1,2}$ gleich 90 ſeyn, daraus ergiebt ſich als Maximum der Tragkraft für die dickeren der obigen Elektromagnete 11664 Gramme, für die dünneren aber 5991 Gramme.

Die Tragkraft der Elektromagnete hängt, wie wir dies ſchon oben, Seite 490 geſehen haben, weſentlich von der Geſtalt des Ankers ab. Hätten wir für die dickeren Elektromagnete einen Anker angewandt, für wel-

chen zwiſchen der Tragkraft und dem im Elektromagneten erregten Magnetismus das gleiche Verhältniß ſtattgefunden hätte, wie bei den dünnern, ſo müßte man die Tragkräfte der Elektromagnete I., II. und III. nach der Gleichung 1 berechnen können, wenn man für die Conſtanten a und b diejenigen Werthe ſetzt, wie ſie ſich aus den mit dem Elektromagneten IV, V und VI. angeſtellten Verſuchen ergeben, nämlich $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$. Die Beziehung zwiſchen Stromſtärke und Tragkraft wäre alsdann für die 10^{mm} dicken Elektromagnete

$$s = 19 \ tang. \frac{\sqrt{t}}{2{,}035} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4).$$

Wie ſehr aber die nach Gleichung 4 berechneten Tragkräfte den nach Gleichung 3 berechneten differiren, ergiebt ſich aus folgender Zuſammenſtellung:

s	t berechnet nach 3	t berechnet nach 4
21	8154	9127
54	10201	19881
118	10983	25921
150	11130	27225

man ſieht alſo, wie weit die an den dickeren Elektromagneten beobachteten Tragkräfte hinter denen zurückbleiben, welche man nach den mit den dünneren angeſtellten Verſuchen hätte erwarten ſollen. Man begreift dies Zurückbleiben aber ſehr gut, wenn man bedenkt, daß derſelbe Anker für die dickeren und die dünneren Elektromagnete gebraucht wurde, und daß alſo derſelbe für die dickeren Elektromagnete verhältnißmäßig klein war. —

Nach Gleichung 4 würde das Maximum der Tragkraft für die 10^{mm} dicken Elektromagnete 33489 Gramme ſeyn. Da für das Maximum der Tragkraft

$$\frac{\sqrt{t}}{b \ d^2} = 90,$$

ſo iſt alſo

$$t = 90^2 \ . \ b^2 \ . \ d^4,$$

d. h. das Maximum der Tragkraft würde alſo im Verhältniß der vierten Potenz des Durchmeſſers der Elektromagneten wachſen, wenn es möglich wäre, für alle Dicken die entſprechenden Anker zu finden.

Ein Elektromagnet unſers phyſikaliſchen Cabinets hat einen Durchmeſſer von 35^{mm}; jeder der Schenkel iſt mit 480 Windungen umgeben. Wenden wir auf dieſen Elektromagneten die Gleichung 1 mit den Conſtanten $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$ an, welche aus den Verſuchen abgeleitet ſind, die mit den $6{,}5^{mm}$ dicken Elektromagneten angeſtellt werden, ſo erhalten wir für dieſen großen Elektromagneten die Gleichung

$$s = 124 \,.\, tang. \frac{\sqrt{t}}{24},$$

wo für s die Tangente des an der Tangentenbuſſole durch den Strom hervorgebrachten Ablenkungswinkels, multiplicirt mit 960 (der Anzahl der Spiralwindungen um beide Pole), zu ſetzen iſt.

Dieſer Gleichung nach wäre das Maximum der Tragkraft für dieſen Elektromagneten 4666 Kilogramme, alſo über 9000 Pfund.

Einem Strom, für welchen $v = 2{,}6^0$ (welcher $2{,}6^0$ Ablenkung an der Tangentenbuſſole hervorbringt), entſpricht nach dieſer Gleichung eine Tragkraft von 214 Kilogrammen; der Verſuch ergab nur 86 Kilogramme.

Bei einem Strom, für welchen $v = 5{,}5^0$, wurde die Tragkraft gleich 125 Kilogrammen gefunden, während ſie nach jener Gleichung 767 Kilogrammen ſeyn ſollte.

Die Tragkraft des Elektromagneten iſt keine ſo einfache Function der Stromſtärke wie das magnetiſche Moment, aus dem ſehr begreiflichen Grunde, weil die Tragkraft nicht allein von dem im Elektromagneten erregten Magnetismus, ſondern auch von der Natur des Ankers abhängt; der Einfluß des Ankers iſt aber noch keineswegs genügend ſtudirt, um demſelben bei Conſtruction der Formeln Rechnung tragen zu können.

Wenn die Elektromagnete durch Vergrößerung des Querſchnitts im Stande ſind, gleichſam eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, ſo kann ihre Tragkraft nur dann in einer dem vermehrten Magnetismus entſprechenden Weiſe zunehmen, wenn auch im Anker eine gleiche Vermehrung des freien Magnetismus ſtattfinden kann, d. h. wenn der Querſchnitt des Ankers und der Berührungsfläche in gleichem Verhältniſſe wächſt, wie der Querſchnitt des Elektromagneten.

Während nun auf der einen Seite die Vergrößerung des Querſchnitts des Ankers denſelben befähigt, eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, wird auf der andern Seite durch Vergrößerung der Berührungsfläche die Vollkommenheit der Berührung beeinträchtigt, und ſo kommt es denn, daß die Tragkraft größerer Elektromagnete weit hinter dem zurückbleibt, was man nach den Verſuchen hätte erwarten ſollen, die mit kleinen Elektromagneten angeſtellt wurden.

Man ſieht aus alle dem, daß, wenn es nur darauf ankommt, Elektro-

magnete von großer Tragkraft zu conſtruiren, man ohne Vergrößerung der Dimenſionen, ohne Vermehrung der Windungen und ohne Anwendung außergewöhnlich großer Batterien noch Vieles durch Verbeſſerung in der Conſtruction der Anker und durch Veränderung der Geſtalt des Querſchnitts der Elektromagnete erreichen kann.

Jedenfalls ſind nun zunächſt genauere und umfaſſende Unterſuchungen über den Einfluß der Anker von der größten Wichtigkeit.

Iſt die Magnetiſirung eines Eiſenſtabes als eine Arbeit des galvaniſchen Stromes zu betrachten. 206 Bei der Vergleichung verſchiedener Wirkungen des elektriſchen Stromes iſt bisher ein Geſichtspunkt ganz außer Acht gelaſſen worden, nämlich die Beantwortung der Frage: Ob und in wiefern eine beſtimmte Wirkung des elektriſchen Stromes als eine Arbeit deſſelben zu betrachten iſt oder nicht.

Zunächſt iſt hier der Begriff der Arbeit feſtzuſtellen.

Eine jede mechaniſche Arbeit beruht in der Ueberwindung eines Widerſtandes, wodurch ſtets ein Theil der bewegenden Kraft in Anſpruch genommen wird. Ein durch ſeine Schwere niederfallender Körper verrichtet nur in ſofern eine Arbeit, als er einen ſeinem Falle entgegenſtehenden Widerſtand überwindet; ein frei fallender Körper verrichtet keine Arbeit.

Dem entſprechend kann man auch nur diejenigen Wirkungen des galvaniſchen Stromes als eine Arbeit deſſelben betrachten, deren Hervorbringung nothwendig die Ueberwindung eines Widerſtandes erfordert.

Da aber die Ueberwindung eines Widerſtandes ſtets einen Theil der beſchleunigenden Kraft gleichſam conſumirt, ſo wird auch jede Arbeit des galvaniſchen Stromes mit einer entſprechenden Verminderung der Stromſtärke verbunden ſeyn, gerade ſo wie auch ein niederſinkender Körper einen Theil ſeiner Fallgeſchwindigkeit einbüßt, wenn er bei ſeinem Falle einen Widerſtand überwinden muß.

Wird in eine durch einen dicken Kupferdraht geſchloſſene galvaniſche Batterie ein Voltameter eingeſchaltet, ſo nimmt die Stromſtärke augenblicklich ab. Die Waſſerzerſetzung iſt alſo eine Arbeit für den galvaniſchen Strom.

Ebenſo verhält es ſich mit dem Erwärmen und dem Glühen von Metalldrähten durch den Strom.

Halten wir an dem aufgeſtellten Begriffe feſt, ſo iſt das Magnetiſiren eines weichen Eiſens durch den Strom keine Arbeit für denſelben.

Wenn der Strom einer galvaniſchen Batterie durch eine Magnetiſirungsſpirale und eine Tangentenbuſſole geleitet iſt, welche hinreichend weit von einander aufgeſtellt ſind, ſo wird in dem Augenblicke, in welchem man

einen Eiſenſtab in die Spirale einſchiebt, die Nadel der Tangentenbuſſole allerdings momentan durch einen Inductionsſtrom afficirt, ſie kehrt aber ſogleich wieder zu ihrer früheren Stellung zurück und zeigt dieſelbe Ablenkung, wenn der Eiſenſtab ruhig in der Spirale liegen bleibt, als ob er ganz entfernt wäre.

Der Strom wird alſo durch die Magnetiſirung des Eiſenſtabes nicht im mindeſten geſchwächt.

Dies Reſultat hätte ſich wohl vorausſehen laſſen, denn wenn die Magnetiſirung eine Arbeit des galvaniſchen Stromes wäre, ſo müßte auch umgekehrt ein Magnet, welcher ruhig in einer Spirale liegt, einen continuirlichen Strom in derſelben erzeugen können, was bekanntlich nicht der Fall iſt.

Die Magnetiſirung eines weichen Eiſens vermindert alſo die Stromſtärke nicht; ſobald aber in Folge der Anziehungen und Abſtoßungen des Elektromagneten eine Bewegung hervorgebracht, alſo ein mechaniſcher Effect ausgeübt wird, tritt augenblicklich eine entſprechende Verminderung der Stromſtärke ein, wie wir dies ſogleich bei der näheren Betrachtung elektromagnetiſcher Motoren ſehen werden

207 **Verſuche zur praktiſchen Benutzung der elektromagnetiſchen Triebkraft.** Wenige Zweige der Phyſik haben ſich einer ſo raſchen Entwickelung zu erfreuen, als der Galvanismus, und wenige haben in ſo kurzer Zeit ſo viele Früchte für das praktiſche Leben getragen. Galvanoplaſtik, galvaniſche Vergoldung und Verſilberung, das Sprengen von Felſen durch Galvanismus, und vor Allem die elektriſche Telegraphie, ſind techniſche Anwendungen der galvaniſchen Elektricität, welche ſich erſt in den zwei letzten Decennien entwickelt haben.

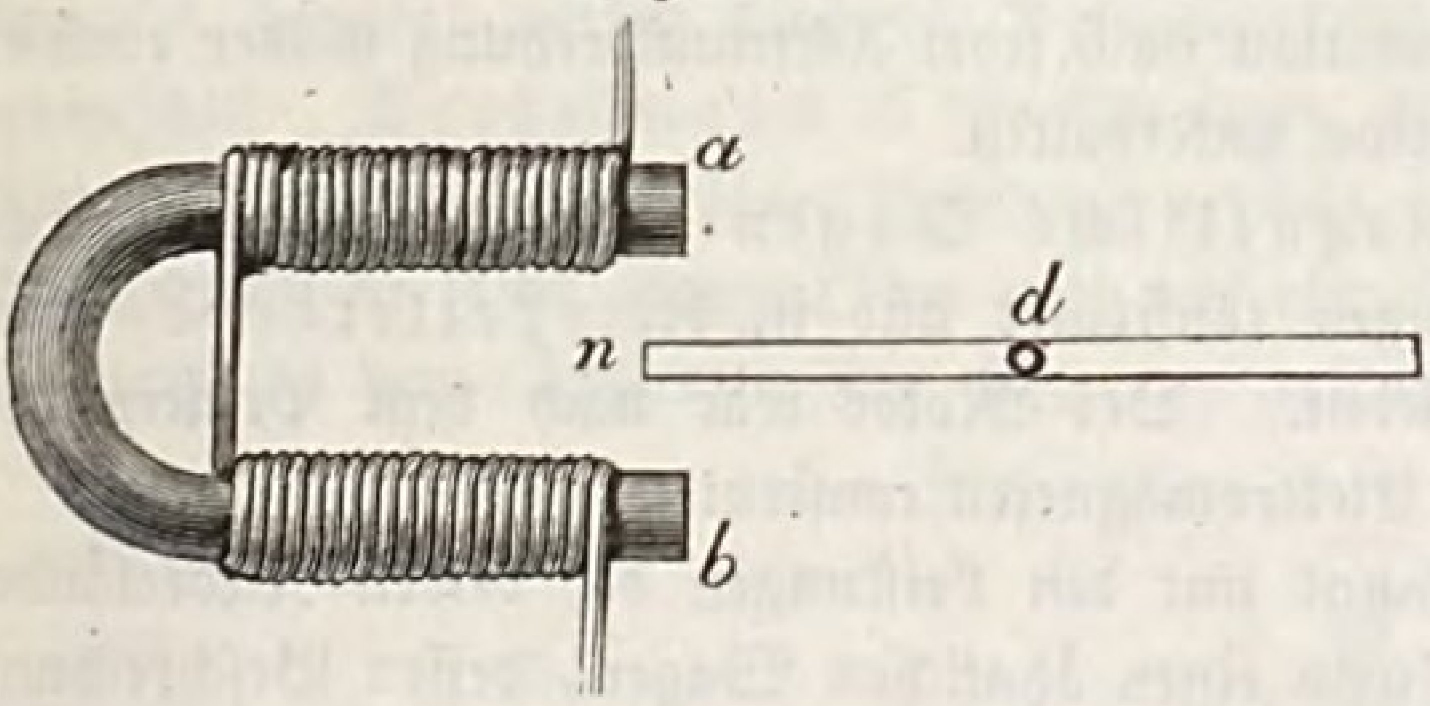
Weniger glücklich als in den eben angeführten Beiſpielen ſind die Bemühungen geweſen, das galvaniſche Licht in die Praxis einzuführen, wie dies bereits auf Seite 418 angeführt wurde, und eben ſo wenig Erfolg hatten die Verſuche, welche angeſtellt wurden, um den Elektromagnetismus als Triebkraft zu benutzen.

Das wichtigſte, was bis zum Jahre 1838 auf dieſem Felde geſchehen war, hat Vorſzelmann de Heer in einem Aufſatze zuſammengeſtellt, welcher ſich im 47ſten Bande von Poggendorff's Annalen (S. 76) befindet. Demzufolge war Dal Negro in Padua der Erſte, welcher einen Apparat verfertigte, in welchem der Elektromagnetismus als bewegende Kraft angewandt wurde; mit dieſem Apparate konnte eine Laſt von 180 Grammen in einer Minute 1 Meter hoch gehoben werden; dies war der Nutzeffect des erſten elektromotoriſchen Motors, deſſen Beſchreibung ſich in einer Abhandlung: Nuova Macchina elettro magnetica immagi-

nata dall' ab Salvatore Dal Negro, die ſich in den Annali delle scienze del Regno Lombardo Veneto, März 1834, befindet.

Wenn ich Vorſelmann's Beſchreibung recht verſtanden habe, ſo war die Einrichtung der Maſchine Dal Negro's im Weſentlichen folgende: Die beiden Pole a und b, Fig. 182, eines Uförmigen Elektromagneten ſtanden vertical übereinander und zwiſchen beiden oscillirte um eine horizontale Axe d, ſich drehend, der eine Pol n eines ſtabförmigen Stahlmagneten; n wird ſich nach a hin bewegen, wenn a die entgegengeſetzte Polarität von n hat; ſobald aber n bei a angekommen iſt, wird durch eine entſprechende Vorrichtung der Strom der Magnetiſirungsſpirale umgekehrt, jetzt wirkt alſo a abſtoßend, b anziehend auf n. Sobald aber in Folge davon n bei b ankommt, erfolgt eine abermalige Commutation, welche n wieder in die Höhe treibt u. ſ. w. Die oscillirende Bewegung des Magnetſtabes wird nun auf eine geeignete Weiſe in eine Rotationsbewegung verwandelt.

Fig. 182.



In Deutſchland conſtruirte zuerſt Jakobi einen elektromagnetiſchen Motor, bei welchem unmittelbar eine rotirende Bewegung erzeugt wird. Er machte dieſen Apparat und die damit angeſtellten Verſuche in einem Schriftchen bekannt, welches im Jahre 1835 zu Potsdam unter dem Titel: Mémoire sur l'application de l'électromagnetisme au mouvement des machines, par M. H. Jacobi, erſchien. In Poggendorff's Annalen (XXXVI, 366.) findet ſich nur eine kurze Andeutung über die Einrichtung der Maſchine und eine genauere Beſchreibung des an ihr angebrachten Commutators.

Die Conſtruction der Maſchine iſt im Weſentlichen folgende: Eine verticale Holzſcheibe, die um eine horizontale Axe drehbar iſt, trägt ſeitwärts, rechtwinkelig gegen ihre Ebene, alſo in horizontaler Lage, vier Hufeiſen von weichem Eiſen, deren Enden, wenn man die Scheibe dreht, dicht vor den Enden vier anderer Hufeiſen vorübergehen, welche gleichfalls in horizontaler Lage unverrückbar an einem Holzgeſtell befeſtigt ſind. Sämmtliche Hufeiſen ſind durch Umwickelung mit dem Schließungsdraht einer Volta'ſchen Säule zu Elektromagneten gemacht, und zwar in der Art, daß im Kreiſe herum ſowohl bei den beweglichen als bei den feſten, Nord- und Südpol immer mit einander abwechſeln. Angenommen nun, daß urſprüng-

lich die gleichnamigen Pole einander gegenüberſtehen, ſo iſt klar, daß die Scheibe, wenn man ihr einen geringen Stoß ertheilt, in der Richtung deſſelben ſo weit fortgehen wird, bis die ungleichnamigen Pole einander gegenüberſtehen, alſo bis ſie etwa $1/8$ des Kreisumfanges zurückgelegt hat; in dieſem Momente werden aber nun durch einen paſſenden Commutator die Pole der feſten oder der beweglichen Elektromagnete umgekehrt und dadurch, indem die Commutation nach jeder Achtelumdrehung wieder eintritt, eine continuirliche Rotation unterhalten.

Der erſte elektromagnetiſche Wagen wurde von Stratingh und Becker zu Gröningen conſtruirt und in der »Letterbode« vom December 1835 beſchrieben. Der Motor war nach dem Princip von Ritchie's rotirendem Elektromagneten conſtruirt.

Wahrſcheinlich unbekannt mit den Leiſtungen der beiden Niederländer verfertigte Botto in Turin einen ähnlichen Wagen, deſſen Beſchreibung man in der Bibliothèque universelle (Aôut 1836) findet. Mit dem Motor, welcher dieſen Wagen in Bewegung ſetzte, konnte man in 4 Secunden ein Gewicht von 8 Kilogrammen 1,5 Meter hoch heben; es wären demnach 25 Botto'ſche Maſchinen nöthig, um die Wirkung einer Pferdekraft hervorzubringen.

In Amerika hat man ſich mit vielem Eifer auf die Anfertigung elektromagnetiſcher Motoren gelegt. Page, Callan, Davenport haben den Elektromagnetismus auf verſchiedene Weiſe als bewegende Kraft angewandt; der Letztere hat ſogar ein Patent auf die Einführung elektromagnetiſcher Motoren in den Vereinigten Staaten erlangt Dieſer Davenport iſt ein Hufſchmidt in einem Dorfe bei Rütland, im Staate Vermont, ein Mann voll Eifer und Ausdauer, der aber, nach dem was man von ihm in Sillimann's Zeitſchrift lieſt, mit dem wiſſenſchaftlichen Theil der Sache ſo gut wie ganz unbekannt iſt.

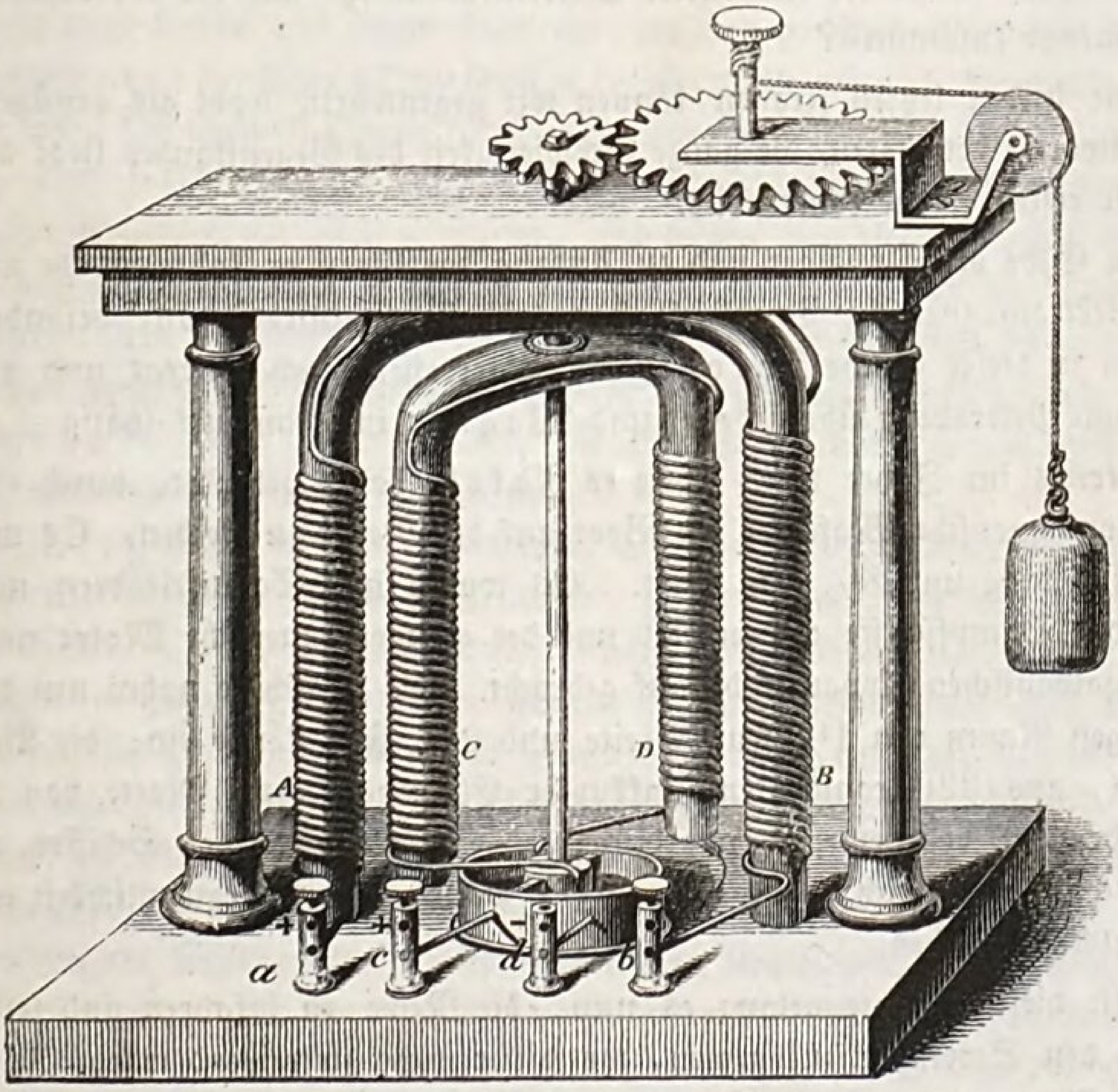
Aehnliches finden wir übrigens, wenn auch nicht ganz in dem Maße, noch bei vielen Andern, die ſich mit dieſer Aufgabe beſchäftigt haben. Voll Eifer für die Sache geben ſie ſich den ſanguiniſchſten Hoffnungen hin, wenn es ihnen gelingt, einige oft ganz ſinnreiche und zweckmäßige Anordnungen oder Verbeſſerungen an den Apparaten anzubringen, während ſie in Beziehung auf die Hauptfrage ganz und gar im Dunkeln umhertappen, weil es ihnen an den nöthigen Vorkenntniſſen fehlt, um den mechaniſchen Effect ihrer Vorrichtungen gehörig zu würdigen.

Davenport meint, mit zwei Elektromagneten könne man die größten Maſchinen mit weniger Koſten als durch Dampf treiben, und Callan ſagt, wenn ſeine Berechnung richtig ſey, ſo koſte der Elektromagnetismus zur Fortſchaffung von Wagen auf einer Eiſenbahn höchſtens $1/4$ ſo viel als der Dampf.

Vorßelmann ſpricht ſich nun einerſeits gegen ſolche, aller ſoliden experimentellen Begründung entbehrenden Schwindeleien, auf der andern Seite aber auch dagegen aus, daß man ohne weitere Prüfung über die praktiſche Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als Triebkraft den Stab bricht.

Bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet ſowohl, als auch bei Jakobi's Apparat wirken bloß die Pole der feſten Elektromagnete auf die rotirenden. Vorßelmann iſt der Meinung, daß wohl unter ſonſt gleichen Umſtänden eine größere Wirkung erreicht werden könne, wenn die Elektromagnete ihrer ganzen Länge nach auf einander wirken, wie dies ſpäter auch in dem Apparate Fig. 183 der Fall war. Nach dieſer Figur

Fig. 183.



läßt ſich auch Vorßelmann's Apparat verſtändlich machen: man denke ſich um die Rotationsaxe nicht zwei Arme *C* und *D*, ſondern ſtatt deſſen vier in rechten Winkeln von einander abſtehende, nicht weiter mit einander verbundene Elektromagnete, welche zwiſchen vier feſten der Rotationsaxe gleichfalls parallelen Elektromagneten rotiren, wie *C* und *D* zwiſchen *A* und *B*.

Bei dem Apparat Vorßelmann's ſteht aber die Rotationsaxe nicht vertical, ſondern ſie iſt horizontal, ſo daß vier horizontale Elektromagnete

zwiſchen vier feſten und gleichfalls horizontalen rotiren, was natürlich eine andere Einrichtung des Commutators vorausſetzt, welcher übrigens gleichfalls ein Queckſilber-Commutator iſt.

Borßelmann deutet nun den Weg an, welchen man gehen müſſe, um die Frage über die praktiſche Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als bewegende Kraft zur Entſcheidung zu bringen; er entwickelt, daß die Löſung abhängt von der Beantwortung folgender drei Einzelfragen:

1. Wie hängt die bewegende Kraft der elektromagnetiſchen Motoren von der erregten Magnetkraft ab?

2. Wie wird die Magnetkraft durch die entwickelte Elektricitätsmenge beſtimmt?

3. Wie hängt die entwickelte Elektricitätsmenge mit der verbrauchten Zinkmenge zuſammen?

Die beiden letzten Fragen können wir gegenwärtig wohl als genügend beantwortet betrachten, die ganze Schwierigkeit des Gegenſtandes liegt alſo in der erſten Frage concentrirt.

Zu Ende der Dreißiger und zu Anfang der Vierziger Jahre wurde nun die elektromagnetiſche Triebkraft ſehr lebhaft ventilirt; ganz beſonders waren in dieſer Sache Jakobi, der unterdeſſen nach Dorpat und von da nach Petersburg überſiedelte, und Wagner in Frankfurt thätig.

Bereits im Jahre 1838 hatte es Jakobi dahin gebracht, durch eine elektromagnetiſche Maſchine ein Boot auf der Newa zu treiben. Es war 26 Fuß lang und $8^1/_2$ Fuß breit. Es wurde mit Schaufelrädern nach Art der Dampfſchiffe ausgerüſtet und der elektromagnetiſche Motor nebſt dem galvaniſchen Apparate darauf gebracht. Die Maſchine nahm nur den geringen Raum von $1^1/_4$ Fuß Breite und $2^1/_{12}$ Fuß Länge ein; die Batterien, aus 320 conſtanten Zinkkupfer-Elementen (jede Platte von 36 Quadratzoll) beſtehend, waren längs den Seitenwänden des Schiffes angebracht, ſo daß ſich außerdem noch 12 Perſonen mit Bequemlichkeit auf demſelben befanden.

Mit dieſem Boote gelang es nun, die Newa zu befahren und ſelbſt gegen den Strom aufzukommen, wo dieſer nicht zu reißend war. In 2 bis 3 Stunden wurde eine Tour von 7 Werſt (1 Werſt = 3285 par. Fuß) auf der Newa und in den Kanälen zurückgelegt. (Dingler's polyt. Journal, 71. Band, Seite 411.)

Im folgenden Jahre wurde ein Boot von 28 Fuß Länge, $7^1/_2$ Fuß Breite und $2^3/_4$ Fuß Tiefe im Waſſer, welches 14 Perſonen trug, mit einer Geſchwindigkeit von $2^1/_4$ engl. Meilen (1 engl. Meile = 4957 par. Fuß) in der Stunde auf der Newa fortgetrieben. Die elektromagnetiſche Maſchine war die frühere, ſie wurde aber durch eine Batterie von 64

conſtanten Zinkplatinelementen getrieben. Die Kraft, mit welcher die Maſchine arbeitete, betrug $3/4$ bis 1 Pferdekraft. (P. A. LI. 358.)

Mit ganz beſonderem Intereſſe verfolgte man in Deutſchland die Arbeiten Wagner's in Frankfurt, obgleich er dieſelben ziemlich geheim hielt und nur einzelne Andeutungen über ſeine Fortſchritte im Publikum bekannt wurden. Der Fürſt von Fürſtenberg, als Förderer wiſſenſchaftlicher und induſtrieller Unternehmungen rühmlichſt bekannt, ſtellte ihm behufs der Anfertigung ſeiner Apparate und der Anſtellung ſeiner Verſuche die fürſtlichen Werkſtätten zu Riesdorf bei Stockach zur Dispoſition, wo Wagner ſich mehrere Monate aufhielt und ſich vorzugsweiſe mit der Anfertigung elektromagnetiſcher Wagen beſchäftigte.

Welche Erwartungen man damals von Wagner's Erfindungen hegte, erſieht man beſten aus einem Vortrage, welchen v. Reden bei der 18ten Verſammlung deutſcher Naturforſcher in Erlangen gehalten hat, und welcher im „Allgemeinen Organ für Handel und Gewerbe, Nr. 123, S. 539" abgedruckt wurde, von wo er auch in Dingler's polytechniſches Journal, (78ſter Band, Seite 332) überging. Es folgen hier die wichtigſten Stellen aus dieſem Vortrage, weil ſie ſehr gut den Standpunkt Wagner's charakteriſiren, welcher, wie man ſehen wird, das Gebäude ſeiner Hoffnungen doch auf einer ziemlich unſicheren Grundlage aufgeführt hat. Es mögte in der That ſchwer halten, für manche der darin ausgeſprochenen Behauptungen einen Beweis zu finden.

„Zu denjenigen unſerer Landsleute, welche viel Zeit und Studium auf „den Elektromagnetismus verwendeten, gehört auch Herr Wagner in „Frankfurt a. M., welchem durch raſtloſen Eifer bei viel natürlichen An„lagen es gelang, binnen fünf Jahren ſich mit dieſer Kraft und allem, „was damit zuſammenhängt, ſo genau bekannt zu machen, daß die von „ihm erlangten Reſultate ſehr befriedigend genannt werden dürfen. Be„reits im Mai 1836, bei Gelegenheit des Jahresfeſtes der Senken„bergiſchen naturforſchenden Geſellſchaft wurde ein kleines von ihm „verfertigtes Modell einer elektromagnetiſchen Kraftmaſchine vorgezeigt. — „— — — — — Herr Wagner hat nunmehr die erſte Schwierigkeit „überwunden, nämlich die raſche Wirkungsabnahme der damals bekannten „Elektromotoren zu beſeitigen, indem es ihm gelang, Elektromotoren her„zuſtellen, deren Wirkung für eine beliebige, dem Erforderniſſe entſpre„chende Zeit gleich blieb. Von da erſt begann Herr Wagner an die „Möglichkeit der Anwendung des Elektromagnetismus als bewegende Kraft „zu glauben, und beſchäftigte ſich nun mit Anfertigung kleiner elektro„magnetiſcher Rotations-Apparate nach verſchiedenen Principien. — — „— — Der Zufall hat Herrn Wagner auf ein Meßinſtrument ge„leitet, mit deſſen Hülfe es ihm möglich geworden iſt, die Geſetze beider

»Kräfte (der Stromſtärke und des von ihr erregten Magnetismus, M.) direct »zu ſtudiren und dann die mechaniſchen Combinationen dieſem entſpre- »chend anzuordnen.

»Die unter Berückſichtigung dieſer Geſetze von Herrn Wagner er- »ſonnene mechaniſche Conſtruction gewährt den Vortheil, daß die Kraft »elektromagnetiſcher Maſchinen nicht arithmetiſch, ſondern quadratiſch »wächſt, d. h. eine in den betreffenden Theilen zehnmal größere Maſchine »giebt nicht eine zehnmal, ſondern eine hundertfach größere Kraft, ohne »daß dazu eine größere Elektricitätsmenge nöthig wäre; der Zinkverbrauch »bleibt vielmehr derſelbe. Wird ferner der Elektromotor vergrößert, was »allerdings zur Entwickelung bedeutender Kraft erforderlich iſt, ſo ſteht die »dadurch mehr erlangte Kraft in directem Verhältniſſe zum Zinkverbrauch. »Daß dieſe Erſcheinungen nicht bei jedem mechaniſchen Syſteme zur An- »wendung des Elektromagnetismus ſich darlegen werden, bedarf kaum »der Erwähnung.

»Allein ſo weit vorgerückt, waren noch mehrere der Anwendung im »Großen entgegenſtehende Hinderniſſe zu beſeitigen. Dazu gehörte zu- »nächſt der von Faraday entdeckte magnet-elektriſche Funke, welcher, bei »jedesmaliger Trennung der galvaniſchen Kette entſtehend, nicht zu ver- »meiden iſt. — — — Bei Anwendung mächtiger Elektromotoren, wie »das praktiſche Leben ſie verlangt, würde aus dieſen Funken ein ſo hefti- »ges Feuer entſtehen, daß ſelbſt Platin der Verbrennung nicht widerſtehen »dürfte. Nach vielen vergeblichen Bemühungen und angeſtrengten Ver- »ſuchen hat in neueſter Zeit Herr Wagner auch dieſes Hinderniß be- »ſiegt und ein für jede Vergrößerung ausreichendes Schutzmittel gefun- »den. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Die von mir in Augenſchein genommenen Apparate — — — ſind »folgende:

»1) Eine für beliebige, dem Bedürfniß entſprechende Zeit conſtante »Batterie mit nicht größerer Zinkconſumtion als zu disponibler Elektrici- »tät erforderlich iſt. — — — Das bei Benutzung der Batterie entſte- »hende Product (ſchwefelſaures Zinkoxyd) wird in ſo concentrirtem Zuſtande »gewonnen, daß bei Abkühlung Kryſtalle anſchießen. Die Induſtrie wird »demnächſt ſchon einen Verbrauch dafür finden, wie denn vielleicht das »ſo billige unreine kohlenſaure Ammoniak zur Erzeugung von kohlenſau- »rem Zink wird benutzt werden können.

»2) Ein kleiner Wagen, welcher bei 36 bis 40 Pfund eigenem Ge- »wicht, einen andern Wagen, mit 60 Pfund belaſtet, auf einer runden »Holzplatte von 7 Fuß Durchmeſſer im Kreiſe umherführt, und zwar mit »unveränderter Schnelligkeit 2½ bis 3 Stunden hindurch. — — Dieſe

»Locomotive mag ungefähr eine Geſchwindigkeit einer deutſchen Meile »in der Stunde haben (daß iſt höchſtens eine mechaniſche Arbeit von 6 »Fußpfund pr. Secunde, alſo gleich der von $1/_{84}$ Pferdekraft. M).

»3) Eine größere Maſchine, bei welcher das rotirende Syſtem auch »nur 9 Zoll Durchmeſſer hat. — — Die Leiſtung dieſer Maſchine iſt im »Verhältniß ihrer Größe ſehr befriedigend; ſie hat etwa eine Menſchen»kraft und wird zur Bewegung einer Metalldrehbank benutzt.

»4) Ein kleines Modell mit Zählerapparat. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»5) Ein Meßapparat für directe Ermittelung der elektromagnetiſchen »Kraft. — — — Dieſer Apparat weiſt auch den Laien die Art der Ver»mehrung der Kraft lediglich durch Vergrößerung eines Theils der Maſchine »auf das überzeugendſte nach.

— — — — — — — — — — — — —

»Fragen wir nun, welche Vorzüge würde die Anwendung des Elektro»magnetismus als bewegende Kraft vor der augenblicklich wichtigſten die»ſer Kräfte, dem Waſſerdampfe gewähren, und welche Vortheile ſind ſchon »durch die bisherigen Entdeckungen im Gebiete des Elektromagnetismus »für die Praxis gewonnen?

»1) Der Elektromagnetismus hat den Vorzug gänzlicher Gefahrloſig»keit, indem der Elektromotor, z. B. des Herrn W., namentlich kein Zink»waſſerſtoffgas entwickelt.

»2) Da überall keine Gaſe erzeugt werden, ſo iſt er der Geſundheit »durchaus unnachtheilig.

»3) Die Anſchaffung des Apparates, der Maſchine und auch deren »Betrieb iſt ungleich weniger koſtbar als bei der Dampfkraft, vor welcher »der Elektromagnetismus

»4) auch noch den Vorzug hat, daß im Zuſtande der Ruhe die Ma»ſchine gar nichts conſumirt, und daß

»5) die Zinkconſumtion um ſo geringer iſt, je größer die Geſchwindig»keit wird.

»6) Die Maſchine erleidet außer in den Zapfenlagern faſt gar keine Ab»nutzung und nimmt verhältnißmäßig wenig Raum ein.

»7) Die Flüſſigkeit, worin die Kupferplatte ſich befindet, bedarf keiner »Erneuerung, nur die Flüſſigkeit, worin die Zinkplatte ſich befindet, er»fordert allmäligen Erſatz, um das ſchwefelſaure Zinkoxyd daraus kryſtalli»ſiren zu laſſen.

»8) Die Maſchine bedarf faſt keiner Beaufſichtigung.

»9) Im Princip des Elektromagnetismus iſt jeder Grad von Geſchwin»digkeit zuläſſig.

»10) Der Elektromagnetismus gewährt die Thunlichkeit einer elaſti»ſchen und gleichmäßigen Bewegung, ſowie

»11) die Möglichkeit des raſcheſten Anhaltes ohne Stoß (wie verträgt »ſich das mit dem Geſetz der Trägheit? M.) Endlich iſt

»12) einer der wichtigſten Vorzüge des Elektromagnetismus als bewe»gende Kraft, ſeine bereits praktiſch nachgewieſene Anwendbarkeit zu den »kleinſten Krafterforderniſſen, und auf der andern Seite die ſchon jetzt »als ſehr wahrſcheinlich ſich herausſtellende Möglichkeit, demſelben die »größten Kraftäußerungen abzugewinnen. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Wie weit der Elektromagnetismus zum Nachtheile des Waſſerdampfes »ſein Reich ausdehnen wird, darüber können bis jetzt nur Vermuthungen »geäußert werden; daß es noch ferner geſchehen werde, unterliegt kei»nem Zweifel, und der Amerikaner Silliman hat ſchon vor Jahren »ſehr mit Recht den Elektromagnetismus a new power of great but »unknown energy genannt.«

Wagner ſelbſt ſprach ſich in einem Vortrage, den er vor einer Verſammlung von Gewerbtreibenden zu Frankfurt a. M. gehalten hat, (Frankfurter Gewerbfreund, 1841 Nr. 23, Dingler's polyt. Journal, 80. Bd. S. 372.) faſt ganz in derſelben Weiſe aus. Unter den Vorzügen der neuen Kraft führt er auch den an, daß bei Anwendung derſelben für Locomotiven dieſelben leichter gebaut werden können. — Dabei hat er ſchwerlich daran gedacht, daß bei den verſchiedenen Functionen, welche eine Locomotive zu verrichten hat, ihr Gewicht keine geringere Rolle ſpielt, als die Kraft ihrer Maſchine. Nähere Details über ſeine Erfindungen hat Wagner nirgends publicirt, was in mancher Beziehung ſehr zu bedauern iſt, denn wenn ſich auch bis jetzt noch keiner der gehofften Vortheile für die Induſtrie realiſirte, ſo wären ſeiner Zeit doch manche Einzelheiten für die Wiſſenſchaft von großem Intereſſe geweſen; Wagner ſelbſt würde ohne dieſe Abſchließung, durch den Verkehr mit ſachkundigen Männern, namentlich mit Mechanikern gewiß einen klaren Blick über die Lage ſeiner Angelegenheit gewonnen haben, er würde ſicher zu irgend einer Entſcheidung gekommen ſeyn.

Die einzige beſtimmte Nachricht von einer elektromagnetiſchen Locomotive, welche auf einer Eiſenbahn gelaufen iſt, fand ich, aus engliſchen Journalen entnommen, im 86. Bande von Dingler's polytechniſchem Journal, Seite 407. Sie iſt von Davidſon conſtruirt und lief auf der Edinburg-Glasgower Eiſenbahn.

Der Wagen von 16 Fuß Länge und 7 Fuß Breite, wird von 8 kräftigen Elektromagneten getrieben, und lief mit einer Geſchwindigkeit von 4 engliſchen Meilen in der Stunde.

Das iſt nun freilich keine große Geſchwindigkeit, und man muß anerkennen, daß dies Reſultat ein ſehr ungenügendes iſt, wenn man bedenkt, daß dieſe Locomotive ganz allein lief und nicht einmal andere Wagen hinter ſich herzuziehen hatte.

Koſten der elektromagnetiſchen Triebkraft. Die Möglichkeit, 208
ſelbſt größere Maſchinen durch Elektromagnetiſmus zu treiben, iſt durch viele Verſuche, namentlich durch die Jakobi's außer Zweifel geſetzt worden, dadurch iſt aber für die praktiſche Anwendbarkeit dieſer neuen Kraft in der Induſtrie noch nichts entſchieden, denn von dieſer könnte erſt dann die Rede ſeyn, wenn erwieſen wäre, daß der Elektromagnetiſmus, unter gewiſſen Umſtänden wenigſtens, wohlfeiler wäre als andere bewegende Kräfte.

Nur die Möglichkeit des Maſchinenbetriebes durch Elektromagnetiſmus wollte Jakobi bei ſeinen Verſuchen auf dem Boote darthun, der Koſtenpunkt war bei denſelben, wie er ſelbſt ſagt, ganz unberückſichtigt geblieben und alle vorhandenen Data ſind nach dieſer Seite hin viel zu unvollſtändig, um einen auch nur einigermaßen ſichern Schluß zu erlauben.

Wagner hat über die Koſten ſeines Maſchinenbetriebes gar keine Anhaltspunkte mitgetheilt, denn wenn er behauptet, der Elektromagnetiſmus ſey billiger als Dampfkraft, ſo liegt dieſer Behauptung wohl die Vorausſetzung zu Grunde, daß der producirte Zinkvitriol die Koſten faſt ganz decke, was übrigens mehr als zweifelhaft iſt.

So fehlt es uns denn nach dieſer Seite hin ſehr an genügendem Material.

Auf Verſuche Botto's ſich ſtützend (es müſſen ſpätere geweſen ſeyn, als die oben Seite 540 angeführten, denn ſie wurden mit einer conſtanten Zinkplatinkette angeſtellt) berechnet Grove (aus dem Civil Engeneer and Architects Journal, März 1844, S. 94 in Dingler's polyt. Journal, 92. Bd. S. 136.) die Koſten der elektromagnetiſchen Triebkraft in folgender Weiſe. Um die Wirkung einer Pferdekraft für die Dauer von 24 Stunden hervorzubringen, iſt die Conſumtion von 45 Pfund Zink in einer conſtanten Zinkplatinbatterie erforderlich. Rechnet man den Preis des metalliſchen Zinks zu 3 Pence ſo käme dieſe Kraft auf 11 Schilling 3 Pence zu ſtehen; dazu kommt aber noch der Verbrauch von 50½ Pfund Salpeterſäure, welche zu 6 Pence pr. Pfd. 1 Pfd. Sterl. 5 Schill. 3 Pence koſtet. Die ganze Auslage folglich, um den Effect einer einzigen Pferdekraft durch einen elektriſchen Kraftapparat 24 Stunden lang zu erhalten, würde 1 Pfd. Sterl. 16 Schill. 6 Pence betragen.

Bei dieſer Berechnung iſt vorausgeſetzt, daß die Koſten für die erfor-

derliche Schwefelſäure durch den Werth der erzeugten Zinkſalze vollſtändig gedeckt werden.

Dieſelbe Kraft kommt durch eine Dampfmaſchine nur auf wenige Schillinge zu ſtehen. Zwiſchen dieſen Reſultaten und Callin's Erwartungen iſt freilich ein großer Abſtand.

Die Koſtſpieligkeit der elektromagnetiſchen Triebkraft, ſagt Grove, entſpringt daraus, daß die Materialien für ihre Erzeugung, Zink, Salpeterſäure und Schwefelſäure theure Fabrikate ſind, Steinkohlen und Waſſer aber, die Elemente der Dampfkraft, nur Naturproducte.

Auf den erſten Blick könnte man meinen, daß die Anwendung von Batterien, in welchen die theure Salpeterſäure nicht angewendet wird, pecuniär vortheilhafter ſey. Das iſt jedoch keineswegs der Fall. Bei allen andern Batterien iſt die elektromotoriſche Kraft der Elemente geringer; man muß alſo, um gleiche Stromſtärke zu erhalten, eine weit größere Anzahl Plattenpaare anwenden, man hat alſo den gleichen Zinkverbrauch in einer größeren Anzahl von Zellen; was auf der einen Seite an Salpeterſäure geſpart wird, geht an Zink wieder verloren.

Ich habe mich nach weiteren Verſuchen umgeſehen, aus welchen man etwa die Koſten des elektromagnetiſchen Maſchinenbetriebes wenigſtens annähernd berechnen könnte, habe aber nichts gefunden als einige Verſuche von Scoresby und Joule im Philosophical Magazine (vol. XXVIII. Seite 448.).

Von den Verſuchen der beiden Engländer wird weiter unten noch mehr die Rede ſeyn, hier will ich nur einen Verſuch anführen: bei einer Zinkconſumtion von 205 Gran pr. Stunde wurde mittelſt einer elektromagnetiſchen Maſchine ein mechaniſcher Effect von 21100 Fußpfund in der Stunde, das iſt 5,8 Fußpfund in der Secunde, alſo ungefähr $1/_{88}$ Pferdekraft, hervorgebracht, demnach würde eine ganze Pferdekraft in 24 Stunden allein 56 Pfund Zink verzehren, alſo noch etwas theurer zu ſtehen kommen als nach obiger Berechnung Grove's.

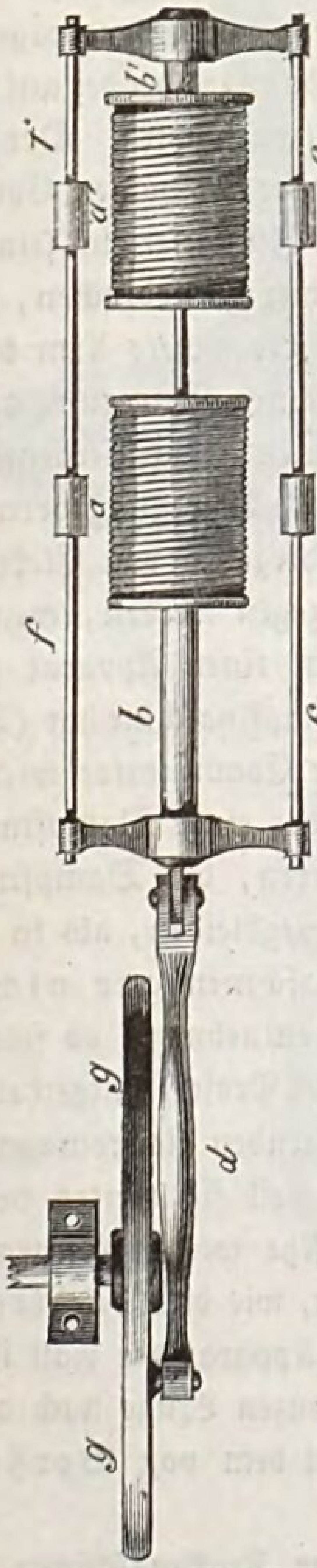
Stöhrer hat einige Verſuche bekannt gemacht (P. A. LXIX. 87.) die er mit ſeiner elektromagnetiſchen Kraftmaſchine angeſtellt hat, allein er giebt nur in Fußpfunden den mechaniſchen Effect an, welcher erhalten wurde, wenn der Strom von 1, 2, 3, 4 und 5 ſeiner Zinkkohlenbecher durch den Apparat geleitet wurde, ohne den Zinkverbrauch anzugeben oder Data mitzutheilen, aus denen man ihn etwa hätte berechnen können; zur Berechnung des Koſtenpunktes ſind alſo ſeine Angaben nicht zu gebrauchen.

209 **Conſtruction der elektromagnetiſchen Kraftmaſchine.** Man hat elektromagnetiſche Motoren in ſehr verſchiedenen Formen conſtruirt, doch laſſen ſich der Hauptſache nach zwei Claſſen unterſcheiden. In die erſte

Claſſe gehören alle diejenigen Apparate, bei denen urſprünglich eine oſcillatoriſche Bewegung hervorgebracht wird, die erſt in eine continuirlich drehende verwandelt werden muß; die zweite Claſſe bilden alle diejenigen Apparate, in denen durch die elektromagnetiſchen Kräfte unmittelbar eine Rotationsbewegung hervorgebracht wird.

Betrachten wir zunächſt die Maſchinen der erſten Claſſe, welche die weniger verbreiteten ſind.

Fig. 184.



Dal Negro's Apparat, welcher hierher gehört, wurde bereits auf Seite 539 beſprochen. Page, Profeſſor der Chemie am Columbia-Collegium zu Waſhington, conſtruirte einen hierher gehörigen Apparat, der in Silliman's Journal beſchrieben iſt (Dingler's polyt. Journal, 102 Bd. S. 112.), das Weſentliche deſſelben wird durch Fig. 184 verſtändlich werden.

Auf einem Brett ſind in horizontaler Lage zwei Magnetiſirungsſpiralen *a* und *a'* in horizontaler Lage ſo befeſtigt, daß ihre Axen genau in dieſelbe gerade Linie fallen. Die beiden Eiſenſtäbe *b* und *b'*, durch ein Meſſingſtäbchen mit einander verbunden, ſind an dem beweglichen Rahmen *f f'* befeſtigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch *a'*, ſo wird *b'* nach der Linken gezogen; ſo bald der Stab *b'* ganz in *a'* hineingeſchoben iſt, wird der Strom in *a'* unterbrochen, während er durch *a* zu laufen beginnt. *b* wird jetzt in die Spirale *a* hineingezogen, während *a'* nicht mehr auf *b'* wirkt; iſt die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, ſo tritt abermals ein Stromwechſel ein, und ſo wird eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche durch die Treibſtange *d* dem Schwungrad *g* eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechſel iſt an der Schwungradswelle angebracht. Dieſe ſo wie die Drahtleitungen ſind in der Zeichnung weggelaſſen, da es nur darauf ankam, eine Idee von dem Apparate zu geben.

Werden die Eiſenſtäbe *b* und *b′* durch Magnetſtäbe erſetzt und der Apparat durch die Hand mittelſt einer Kurbel umgedreht, ſo werden in *a* und *a′* Inductionsſtröme erzeugt, der Apparat kann alſo in dieſem Falle als magnetoelektriſche Maſchine benutzt werden.

In dem London Journal of arts, November 1839 (Dingler's polyt. Journal, 75 Bd. S. 88.) beſchreibt Callet eine elektromagnetiſche Kraftmaſchine, welcher er die Form einer Dampfmaſchine zu geben ſuchte. Von den beiden Enden eines Balanciers, welcher dem Balancier einer gewöhnlichen Niederdruckmaſchine ganz gleich geformt iſt, hängen Pleuelſtangen herab, welche unten genau abgedrehte Cylinder von Eiſen tragen, von denen abwechſelnd der auf der rechten Seite und dann wieder der auf der linken Seite in einen hohlen Elektromagneten niedergezogen wird. Der Strom geht alſo einmal durch den Draht des einen eiſernen hohlen Cylinders, wodurch der eine Eiſenſtab niedergezogen wird. Iſt dieſer in ſeiner tiefſten Stellung angekommen, ſo wird der Strom hier unterbrochen, er umläuft nun den anderen Hohlcylinder, ſo daß jetzt der andere Arm des Balanciers niedergezogen wird u. ſ. w., die alternirende Bewegung des Balanciers wird mittelſt einer in der Mitte des einen Balancierarmes befeſtigten Treibſtange und einer Kurbel in eine rotirende Bewegung verwandelt.

Hjorth hat das alternirende Auf- und Niedergehen von Elektromagneten, welche in die Höhlung anderer hineingezogen werden, wenn dieſe durch den Strom magnetiſirt ſind, benutzt, um einen Apparat zu conſtruiren, der ganz die Form einer oſcillirenden Dampfmaſchine hat (Dingler's polyt. Journal, Bd. 113, S. 425.); der Commutator wird durch eine excentriſche Scheibe geführt, wie der Schieber einer Dampfmaſchine.

Eine nähere Beſchreibung dieſer beiden letzteren, die Dampfmaſchine nachahmenden Formen, dürfte hier um ſo eher wegbleiben, als in den citirten Aufſätzen über die Wirkſamkeit dieſer Maſchinen gar nichts geſagt iſt, ja es iſt aus denſelben nicht einmal zu entnehmen, ob ſolche Apparate wirklich ausgeführt ſind, oder ob ein bloßes Project mitgetheilt wird.

Bei der zweiten Claſſe, den unmittelbar rotirenden elektromagnetiſchen Motoren, können wir uns noch kürzer faſſen, weil ſie weiter verbreitet und der Hauptſache nach als bekannt vorausgeſetzt werden können. Bei ihnen wirken entweder nur die Pole aufeinander, wie dies bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet und bei Jakobi's Apparat der Fall iſt, oder es wirken die elektromagnetiſchen Stäbe ihrer ganzen Länge nach auf einander, wie bei dem Apparate Fig. 183 und bei dem von Vorßelman vorgeſchlagenen.

Man hat ſolcher rotirenden elektromagnetiſchen Kraftmaſchinen in gar mannichfachen Modificationen conſtruirt, die oft ganz ſinnreich und zweckmäßig ſind, die nähere Beſprechung derſelben gehört aber nicht hier her.

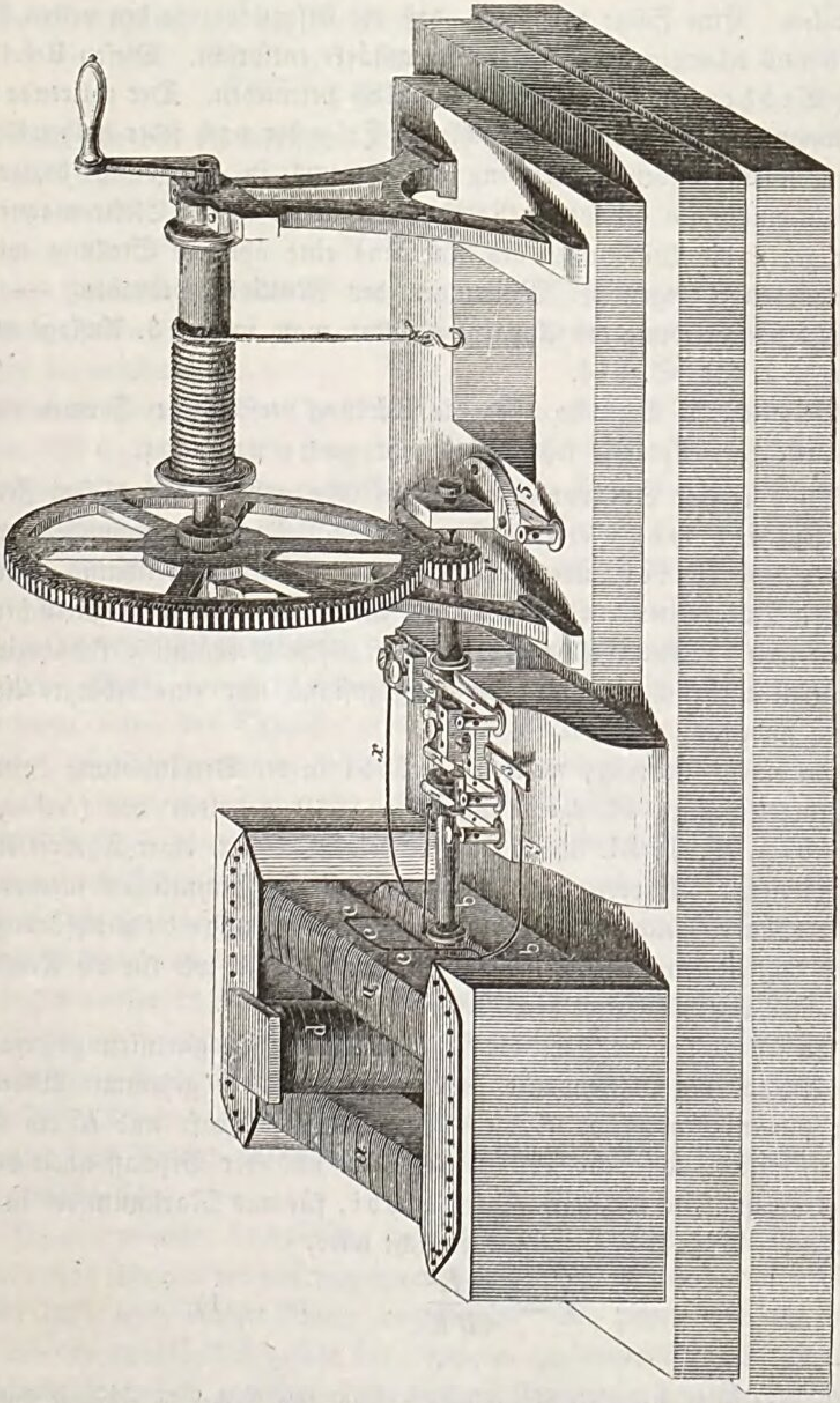


Fig. 185.

Alle dieſe Maſchinen verlieren einen Theil ihrer Wirkſamkeit dadurch, daß bei raſcher Rotation die Polarität in den Eiſenſtäben nicht ſo ſchnell umgekehrt werden kann, wie die Stromrichtung in den Magnetiſirungsſpiralen. Eine Folge davon iſt, daß die Eiſenſtäbe nie den vollen Magnetismus erlangen, welcher der Stromſtärke entſpricht. Dieſen Uebelſtand hat Stöhrer in dem Apparat Fig. 185 vermieden. Der rotirende Elektromagnet d rotirt ohne Polwechſel in Folge der nach jeder halben Umdrehung ſtattfindenden Umkehrung des Stroms in den durch horizontale Drahtwindungen gebildeten Rahmen aa und bb, der Elektromagnet hat hier gegen die Windungen des Rahmens eine ähnliche Stellung wie die Magnetnadel gegen die Windungen des Multiplicatordrahtes. — Eine nähere Beſchreibung des Apparates findet man in der 3. Auflage meiner Phyſik 2. Bd. S. 214.

Vergleichende Verſuche über die Wirkung verſchiedener Formen elektromagnetiſcher Motoren fehlten bis jetzt ganz und gar.

210 **Theorie der elektromagnetiſchen Motoren.** In dieſem Felde iſt bis jetzt noch ſehr wenig gethan worden. Die Unterſuchungen, welche Lenz und Jakobi über die Geſetze des Elektromagnetismus anſtellten, ſollten Vorarbeiten zur Entwickelung einer Theorie elektromagnetiſcher Motoren ſeyn. Jene Geſetze aber, auf ſtatiſche Verhältniſſe ſich beziehend, konnten natürlich bei dem Bewegungszuſtand nur eine bedingte Anwendung finden.

In einem Vortrag, welchen Jakobi in der Verſammlung brittiſcher Naturforſcher zu Glasgow im Jahr 1840 gehalten hat (Athenaeum Nr. 678, P. A. LI. 358), theilt er folgende Skizze einer Theorie elektromagnetiſcher Motoren mit. Bezeichnet R die ſämmtlichen mechaniſchen Widerſtände, welche auf die Maſchine einwirken, und v die gleichförmige Geſchwindigkeit, mit welcher ſie ſich bewegt, ſo haben wir für die Kraft oder den mechaniſchen Effect den Ausdruck $T = Rv$.

Es ſey nun n die Zahl der Windungen der Magnetiſirungsſpirale, z die Anzahl der Plattenpaare der Batterie, B der geſammte Widerſtand der galvaniſchen Kette, E die elektromotoriſche Kraft und K ein Coefficient, welcher von dem Abſtand der Pole und der Beſchaffenheit des Eiſens abhängt, ſo hat man, ſagt Jakobi, für das Maximum des mechaniſchen Effects [1]), welches erreicht wird,

$$T = \frac{z^2 E^2}{4BK} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

[1]) Das heißt wenn die disponibeln galvaniſchen Becher ſo geordnet ſind, daß man ein Maximum von Stromſtärke erhält, daß alſo der Widerſtand der Kette gleich dem des Schließungsbogens iſt.

für die Geſchwindigkeit, welche dieſem Maximum entſpricht,

$$v = \frac{B}{K n^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

für den Widerſtand, der auf die Maſchine einwirkt,

$$R = \frac{n^2 z^2 E^2}{4 B^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

und endlich für den öconomiſchen Effect, d. h. für den Nutzeffect, dividirt durch den Zeitverbrauch

$$O = \frac{E}{2K}.$$

Wie dieſe Formeln entwickelt worden ſind, iſt nicht angegeben; ebenſo wenig theilt Jakobi mit, ob und in wie weit ſie mit den Erfahrungsreſultaten übereinſtimmen.

In einem Vortrage, den Jakobi in der Petersburger Akademie gehalten hat (Dingler's polyt. Journal, 85. Bd. S. 439), ſagt er ſelbſt von dieſen Formeln: »Ich habe dieſe Geſetze in ihren Details noch nicht einer »ſtrengen experimentellen Prüfung unterwerfen können, aber Alles iſt vor»bereitet, um die erſte Muße, die mir vergönnt iſt, zu dieſer umfaſſenden »Arbeit zu benutzen. Die Beſtätigung dieſer Geſetze hat ſich mir bis jetzt »nur im Allgemeinen und Großen ergeben, indem ich durch ſie im Stande »war, eine Maſſe von Erſcheinungen zu erklären die ſich mir dargeboten »und wozu bisher der Schlüſſel gefehlt hatte. Jetzt aber wird es noth»wendig, die Conſtanten zu beſtimmen, und namentlich die mechaniſche »Arbeit zu ermitteln, welche die elektrolytiſche Auflöſung einer gegebenen »Quantität Zink zu produciren vermag. Indeſſen mache ich Sie noch »auf ein merkwürdiges Factum aufmerkſam, das auch dieſe Beſtimmung »nicht als abſolute erſcheinen läßt, — ein Factum, das namentlich unſere »Herrn Collegen von der Chemie in Verwunderung ſetzen wird, indem es »ſich dahin ausſpricht, daß daſſelbe Atom Zink eine verſchiedene mechani»ſche Arbeit zu produciren vermag, je nachdem es in einer Zinkkupfer»oder in einer Zinkplatinbatterie aufgelöſt wird. In letzterem Falle iſt »z. B. dieſe Arbeit beinahe 1¾mal größer als im erſteren.«

Später hat Jakobi meines Wiſſens Nichts mehr über dieſen Gegenſtand veröffentlicht.

Es ſey mir erlaubt, über die Art und Weiſe, wie Jakobi mittelſt jener Formeln eine Theorie der elektromagnetiſchen Kraftmaſchinen zu entwerfen verſucht hat, noch einige Worte beizufügen. Sie gelten nur für den Fall, wie er ausdrücklich geſagt hat, daß bei gegebener Drahtmaſſe die disponibeln Becher ſo geordnet ſind, daß ein Maximum von Stromſtärke erhalten wird, was, wie Lenz und Jakobi früher bewieſen haben, dann der Fall iſt, wenn der Widerſtand der Batterie dem Widerſtand des Schlie-

ßungsbogens gleich iſt. — Dadurch nun, daß ſich die Formeln nur auf einen ſo ſpeciellen Fall beziehen, ſcheint mir nun ihre Anwendbarkeit zu ſehr beſchränkt zu ſeyn.

Jakobi's Formeln geben einen Zuſammenhang zwiſchen dem mechaniſchen Effect, der Becherzahl, der elektromotoriſchen Kraft und dem Leitungswiderſtand der Säule. Hier ſcheint es nun, als ob man eher hoffen dürfte eine genügende Löſung zu erhalten, wenn man die von Jakobi behandelte Frage in zwei ſpaltet, wenn man zuerſt ermittelt, welche Beziehung findet ſtatt zwiſchen Stromſtärke, Rotationsgeſchwindigkeit und mechaniſcher Wirkung. Iſt einmal dieſe Frage beantwortet, ſo iſt es nachher leicht zu ermitteln, mit welcher Einrichtung der Batterie man eine gewünſchte Stromſtärke am zweckmäßigſten erhält.

Durch die Trennung dieſer Fragen gewinnt man jedenfalls eine klarere Einſicht in den Zuſammenhang der Erſcheinungen; die allgemeinen Stromverhältniſſe erſcheinen nicht verwickelt mit den ſpecifiſchen Verhältniſſen elektromagnetiſcher Motoren, wie dies in der letzten Behauptung Jakobi's der Fall iſt.

Die Verſchiedenheit im Verhältniß zwiſchen Zinkconſumtion und Effect, je nachdem man eine Grove'ſche oder eine Daniell'ſche Batterie anwendet, tritt nicht allein bei elektromagnetiſchen Motoren auf, ſondern ſie iſt allen Stromwirkungen gemeinſchaftlich; die Behauptung, welche Jakobi von dem mechaniſchen Effecten aufſtellt, gilt ganz allgemein von der Stromſtärke und von allen Wirkungen, welche der Strom hervorbringt.

Durch einen beliebigen Schließungsbogen gehe der Strom einer Säule von n Grove'ſchen Bechern, deren Anzahl ſo gewählt iſt, daß der Widerſtand der Batterie gleich iſt dem des Schließungsbogens, für welchen Fall, wie Lenz und Jakobi zuerſt gezeigt haben, die Stromſtärke größer iſt als für jede andere Combination derſelben Becherzahl.

Nun ſoll dieſelbe Wirkung mit einer Daniell'ſchen Batterie hervorgebracht werden. —Soll die Säule dieſelbe elektromotoriſche Kraft haben wie im vorigen Falle, ſo muß man eine Säule von $7/4\ n$ Daniell'ſchen Bechern anwenden, weil die elektromotoriſche Kraft jedes einzelnen nur $4/7$ von dem eines Grove'ſchen Bechers iſt. Sind nun außerdem die Daniell'ſchen Becher ſo groß gemacht, daß der Widerſtand der ganzen Säule jetzt gerade ſo groß iſt als der Widerſtand obiger Grove'ſchen Säule, ſo muß nothwendig die Stromſtärke in beiden Fällen ganz gleich ſeyn, da ja bei gleichem Schließungsbogen auch die elektromotoriſchen Kräfte und die Widerſtände der Säulen gleich ſind.

Iſt ein Voltameter in den Schließungsbogen eingeſchaltet, ſo wird man alſo mit beiden Säulen gleiche Waſſerzerſetzung erhalten; gleiche Glüher-

ſcheinung, wenn ſich ein dünner Draht im Schließungsbogen befindet, gleichen mechaniſchen Effect, wenn der Strom die Spiralwindungen eines elektromagnetiſchen Motors durchläuft. Während in allen dieſen Fällen die gleiche Wirkung im Schließungsbogen erzielt wird, durchläuft derſelbe Strom einmal n, das andere mal $^7/_4 n$ Zellen, im letzteren Falle wird alſo bei gleichem Effect im Schließungsbogen die Zinkconſumtion $^7/_4$mal ſo groß ſeyn als im erſten.

Daraus ergiebt ſich wieder auf eine ganz anſchauliche Weiſe, daß von einem elektrothermiſchen Aequivalent des in der Säule galvaniſch verzehrten Zinkes keine Rede ſeyn kann, wie dies bereits in etwas anderer Form auf Seite 382 geſagt worden iſt.

Theorie der elektromagnetiſchen Motoren von Joule und 211
Scoresby. Außer den erſten Verſuchen Jakobi's, eine Theorie der elektromagnetiſchen Kraftapparate zu entwickeln, iſt dieſer Gegenſtand nur noch von Joule und Scoresby behandelt worden, welche ihre theoretiſchen Betrachtungen und Verſuche in einem kleinen Aufſatz beſchrieben haben, der ſich im 28. Bande des Philosophical Magazine (Seite 484) findet. Joule hat ſchon früher Einiges über den Zuſammenhang zwiſchen den thermiſchen und mechaniſchen Wirkungen des Stromes und die zu ſeinen Unterhalte nöthige Conſumtion in der Batterie bekannt gemacht (Phil. Mag. vol. XVIII und XIX). Leider ſind mir die früheren Bände des Philosophical Magazine nicht zugänglich, und ich muß mich deshalb darauf beſchränken, über den gemeinſchaftlichen Aufſatz von Joule und Scoresby zu berichten.

Der Grundgedanke, welchen die beiden Naturforſcher in demſelben durchzuführen verſuchen, iſt, wenn ich recht verſtanden habe, kurz folgender: Wenn ein elektromagnetiſcher Motor in Ruhe gehalten wird, während ein Strom ſeine Drahtwindungen durchläuft, ſo wird eine der Stromſtärke entſprechende Wärmemenge in den Drähten entwickelt werden. Läßt man nun die Maſchine laufen, ſo nimmt die Stromſtärke ab, ein Theil der vorher entwickelten Wärme erſcheint alſo jetzt in mechaniſchen Effect verwandelt.

Die wichtigſte Stelle des beſprochenen Aufſatzes will ich hier wörtlich anführen, ſie heißt:

»Er (nämlich Joule) hat gezeigt, daß wenn alle Wärme, welche durch »die Conſumtion von 1 Gran Zink in einer Daniell'ſchen Batterie ent»wickelt wird, in nutzbare mechaniſche Kraft verwandelt werden könnte, ſie »der Hebung einer Laſt von 158 Pfd. auf die Höhe von 1 Fuß gleich »wäre. Bezeichnen wir die Stromſtärke, wenn die Maſchine in Ruhe »gehalten wird, mit a, wenn die Maſchine im Lauf iſt aber mit b, ſo ver-

»halten ſich die Wärmemengen, welche für beide Fälle in einer gegebenen »Zeit entwickelt werden, wie a^2 zu b^2. Weil ſich aber die Quantitäten »von Zink, welche verzehrt werden, wie a zu b verhalten, ſo verhalten ſich »auch die in beiden Fällen durch gleiche Zinkmengen erzeugten Wärme»quantitäten wie a zu b oder direct wie die Stromſtärken; $a - b$ ſtellt »die in mechaniſcher Wirkung verwandelte Wärmemenge dar. Bezeichnet »man nun mit x den in Fußpfunden ausgedrückten mechaniſchen Effect, »welcher durch die Conſumtion von 1 Gran Zink hervorgebracht werden »kann, ſo haben wir

$$x = 158 \frac{a - b}{a}$$

»Nach der obigen Auseinanderſetzung iſt es klar, daß die öconomiſche »Leiſtung ein Maximum wird, wenn b verſchwindet, oder wenn es wenig»ſtens ſehr klein im Vergleich gegen a iſt. In dieſem Fall wird $x = 158$, »während die Kraft der Maſchine unendlich klein wird, wenn man die »in einer Zeit hervorgebrachte mechaniſche Wirkung ins Auge faßt.«

Joule und Scoresby haben es auch verſucht, ihre Formel durch das Experiment zu beſtätigen. In der folgenden Tabelle habe ich die Reſultate der 6 Verſuche zuſammengeſtellt, welche ſie in dieſer Beziehung gemacht haben.

	Stromſtärke wenn die Maſchine		Mechaniſcher Effect in Fußpfunden pr. Stunde.	Zinkconſumtion in 1 Stunde.
	in Ruhe a	in Bewegung b		
1	2232	920	21100	205 Gran
2	2232	850	17820	190 »
3	1381	850	8800	190 »
4	1381	678	9000	151 »
5	2081	1300	10030	291 »
6	2035	1000	12672	223 »

Dividirt man den Zinkverbrauch in den entſprechenden mechaniſchen Effect, ſo ergiebt ſich der mechaniſche Effect für 1 Gran Zink; dieſer läßt ſich aber auch aus der oben entwickelten Theorie ableiten, wenn man in die Gleichung $x = 158 \frac{a - b}{a}$ für a und b die coreſpondirenden Wer-

the aus obiger Tabelle ſubſtituirt. Stellt man die beobachteten und die berechneten Werthe von x zuſammen, ſo ergiebt ſich folgende Tabelle.

beobachtet	berechnet	
93	103	0,903
98	94	1,04
60,7	46,3	1,31
80,4	59,6	1,51
59,3	34,5	1,71
80,3	56,8	1,40

Die letzte Columne dieſer Tabelle enthält das Verhältniß der berechneten Werthe von x zu den beobachteten, die Zahlen dieſer Columne ſind alſo dadurch erhalten, daß man die der erſten durch die der zweiten dividirt.

Man ſieht nun, daß die beobachteten und die berechneten Werthe von x ſehr ſtark von einander abweichen, und daß auch das Verhältniß zwiſchen beiden ſehr veränderlich iſt, indem es zwiſchen 0,9 und 1,7 ſchwankt.

Dieſe Vergleichung ſpricht nicht ſehr zu Gunſten der Theorie, deren Entwickelung gleichfalls noch viel zu wünſchen übrig läßt. Die Art und Weiſe, wie die beiden engliſchen Gelehrten ihre Verſuche anſtellten, iſt aber gewiß die einzige, welche hier zu einem Ziele führen kann, nur wäre zu wünſchen, daß der mechaniſche Effect nicht bloß in Fußpfunden ausgedrückt wäre, ſondern daß in jedem Fall die Größe der gehobenen Laſt und die Geſchwindigkeit angegeben würde.

Durch dieſe Auseinanderſetzungen glaube ich dargethan zu haben, daß die Theorie der elektromagnetiſchen Motoren noch in ihrer erſten Kindheit liegt, daß alſo auf dieſem Felde noch *ſehr viel* zu thun übrig bleibt.

Die Reibungselektricität in ihrer Anwendung auf die Tele- 212
graphie. Den erſten Verſuchen zu einer elektriſchen Telegraphie gingen die im Jahre 1746 durch *Winkler* in Leipzig, 1747 durch *Watſon* in London, ſo wie durch *Le Monnier* in Paris angeſtellten Unterſuchungen über die Geſchwindigkeit der in Bewegung befindlichen Reibungselektricität unmittelbar vorher.

Der Erſte, der hiervon eine Anwendung auf die Telegraphie gemacht hat, ſcheint *Leſage* aus Genf geweſen zu ſein. Derſelbe conſtruirte 1774 einen Telegraphen aus 24 iſolirten Metalldrähten, an deren Enden

Paare von Hollunderkügelchen angehängt waren, welche an dem einen Ende divergirten, ſobald das andere Ende mit dem Conductor einer in Thätigkeit befindlichen Elektriſir-Maſchine verbunden wurde. Durch das Auseinandergehen des einen oder des anderen Paares dieſer Kügelchen konnte nach Belieben jeder der 24 Buchſtaben ſignaliſirt werden.

Lomond (Young's travels in France, 1787, 4 ed. I. p. 79) hatte ein entfernt ſtehendes Elektrometer aus Hollunderkügelchen durch einen langen Meſſingdraht mit dem Conductor einer Elektriſir-Maſchine verbunden und konnte mittelſt dieſes einen Drahtes durch geeignete Gruppirung mehrerer Divergenzen behufs der Bezeichnung der Buchſtaben ſich eben ſo gut in die Ferne verſtändlich machen, als Leſage dieſes mit 24 Drähten erreichte.

Reißer (Voigt's Magazin, Bd. 9. S. 1.) machte 1794 den Vorſchlag, auf der einen Station 26 Glastäfelchen, jedes mit einem auf die bekannte Weiſe in Staniolſtreifen ausgeſchnittenen Buchſtaben verſehen, aufzuſtellen, das untere Staniolende eines jeden Buchſtabens durch einen beſonderen Draht, dagegen alle oberen Staniolenden durch einen ſiebenundzwanzigſten Draht mit der entfernten Station zu verbinden. Vermittelſt der Entladung einer Leydener Flaſche durch den einen oder den anderen Draht gedachte er auf der entfernten Station in den Lücken des unterbrochenen Staniolſtreifens überſpringende Funken zu erzeugen und dadurch den betreffenden Buchſtaben in glänzender und leuchtender Geſtalt zu ſignaliſiren.

Einen praktiſcheren Vorſchlag machte faſt gleichzeitig Böckmann; auch er gedachte einen an der entfernten Unterbrechungsſtelle der aus zwei Drähten beſtehenden Leitung überſpringenden Funken als Signal zu wählen und durch Combination von Funkengruppen die Buchſtaben zu repräſentiren.

Dr. Salva (Voigt's Mag., Bd. 11, St. 4) zu Madrid führte 1798 einen ähnlichen Telegraphen in ziemlich großem Modelle aus, und in demſelben Jahre zog der Franzoſe Betankourt (Gauß und Weber, »Reſultate des magnet. Ver.« Götting. 1838. S. 14) eine Drahtkette von Aranjuez nach Madrid, vermittelſt welcher die Entladung einer elektriſchen Batterie zu einer telegraphiſchen Correſpondenz benutzt werden konnte.

Alle dieſe, ſowie die 1797 von Cavallo (deſſen Elektr.-Lehre, 1797) und 1816 von Rolands (Description of an electr. telegr., London 1823, auch in Bullet. univ. I. 38) auf die Entladung einer Flaſche oder einer Batterie gegründeten Vorſchläge zu einer elektriſchen Telegraphie ſind an den vielen Hinderniſſen geſcheitert, welche die Unbeſtändigkeit der Elektriſir-Maſchine, ihre Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszuſtande der

Luft, die Schwierigkeit einer vollſtändigen Iſolirung mehrerer Dräthe und die Unſicherheit in der Beobachtung des Funkens mit ſich führen.

Der Galvanismus in ſeiner Anwendung auf die Telegraphie. 213
Mit der Entdeckung des Galvanismus, der Volta'ſchen Säule und ihrer Wirkungen ging auch die Telegraphie einen Schritt weiter. Im Jahre 1808 conſtruirte Sömmering in München (Denkſchr. d. K. Akad. der Wiſſenſch. zu München für 1809) einen Apparat, in welchem er die durch die Volta'ſche Säule bewirkte Waſſerzerſetzung zum Telegraphiren benutzte. Auf derjenigen Station, wohin eine Nachricht gelangen ſollte, waren in einem ſchmalen Waſſerbehälter 35 mit Waſſer angefüllte und mit Buchſtaben oder Ziffern bezeichnete Gläschen umgeſtülpt; auf der andern Station befanden ſich eben ſo viele und eben ſo bezeichnete Meſſingcylinderchen, von denen jedes das eine Ende eines Drahtes trug, der zu der entfernten Station hinlief und dort mit ſeinem vergoldeten Ende in das entſprechende Gläschen mündete. Wurden nun zwei dieſer Cylinder mit den Polen einer Volta'ſchen Säule verbunden, ſo zerſetzte der entſtandene und durch die mit dem Cylinder verbundenen Dräthe circulirende galvaniſche Strom in denjenigen Gläschen, in denen dieſe Dräthe endigten, das Waſſer, deſſen luftförmige Beſtandtheile in Form von Bläschen in die Höhe ſtiegen und ſo zwei Zeichen zugleich angaben, deren Reihenfolge dadurch beſtimmt war, daß immer der Buchſtabe des Waſſerſtoffgläschens voranging. Die 35 Leitungsdräthe waren ſo gut als möglich iſolirt und in einiger Entfernung von den Apparaten zu einem Strange zuſammengewunden.

Wegen der großen Koſten der vielen Dräthe und der Unmöglichkeit, dieſelben auf längere Zeit und in einer größern Strecke gehörig iſolirt zu halten, konnte an eine Anwendung dieſes Telegraphen im Großen nicht gedacht werden.

Die Ideen Schweigger's, ebenfalls durch die Waſſerzerſetzung alle Sömmering'ſchen Signale vermittelſt einer nur aus zwei Dräthen beſtehenden Leitung darzuſtellen, indem eine ſchwächere und eine ſtärkere Batterie in Anwendung kommen und außerdem noch die Zeit in Betracht gezogen werden ſollte, welche theils während einer jeden Gasentwickelung, theils als Pauſe zwiſchen zwei aufeinanderfolgenden Gasentwickelungen verfließt, ſind nur im Modelle, die fünf Jahre ſpäter von Coxe, Profeſſor zu Philadelphia (Ann. de Philad. par Thompson, 1810) gemachten Vorſchläge aber, die Einwirkung der Volta'ſchen Säule auf das Waſſer, auf Salze oder andere chemiſche Subſtanzen zum Telegraphiren zu benutzen, gar nicht zur Ausführung gekommen.

Viel ſpäter, im Jahre 1839, hat Vorſſelman de Heer (Pogg. Ann. Bd. 46. S. 513) eine von dem vorigen ganz abweichende, aber in

ihrem Weſen auf rein galvaniſchen Principien beruhende und daher ſchon hier zu beſchreibende telegraphiſche Methode vorgeſchlagen und in kleinerem Maaßſtabe zur Ausführung gebracht.

Dieſer Telegraph beruht auf den phyſiologiſchen Wirkungen der galvaniſchen Ströme und nimmt daher das Gefühl zum Empfangen der Zeichen in Anſpruch. Zehn Leitungsdrähte verbinden die durchaus gleichen Apparate der beiden Stationen; dieſelben beſtehen aus zehn von einander getrennten und mit den Leitungsdrähten verbundenen metalliſchen Taſtenpaaren. Der Beobachter, welcher eine Nachricht empfangen ſoll, hält ſeine Finger auf den zehn Taſten und kann nun von der andern Station aus, woſelbſt zur Erzeugung des Stromes ein Inductions-Apparat aufgeſtellt iſt und durch Niederdrücken je zweier Taſten die Kette geſchloſſen wird, gleichzeitige Erſchütterung erhalten

a) in einem Finger der rechten Hand und einem Finger der linken Hand,

b) in zwei Fingern der rechten Hand, oder

c) in zwei Fingern der linken Hand.

Die Erſchütterungen a) geben offenbar in 25 verſchiedenen Combinationen eben ſo viele Zeichen, nämlich die 25 Buchſtaben; der Erſchütterungen b) giebt es zehn, ſie bezeichnen die Ziffern, während in den Signalen c) noch zehn Zeichen für den reglementären Theil des Dienſtes, zur Bezeichnung des Wortendes u. dergl. hinzukommen.

Der Mechanismus dieſes Telegraphen iſt höchſt ſinnreich, einfach und ohne namhafte Koſten herzuſtellen; aber es haben wieder die bedeutenden Koſten der zuſammengeſetzten Drahtleitung, ſo wie die Schwierigkeit ihrer Iſolirung der Ausführung deſſelben im Großen unüberſteigliche Hinderniſſe entgegengeſetzt.

Die Erfahrung hat übrigens in der neueſten Zeit gelehrt, daß häufige, ſich oft hintereinander wiederholende elektriſche Erſchütterungen die Beobachter unempfindlich machen. Die Arbeiter in der Gutta-Percha-Drahtfabrik zu Berlin, welche ſich mit der Prüfung der angefertigten Drähte beſchäftigen, haben oft nach vollbrachtem Tage in der Hand bis zum Arm hinauf das Gefühl verloren und ſind dann eine Zeit lang unfähig, ſchwächere Schläge wahrzunehmen.

Der Elektromagnetismus in ſeiner Anwendung auf die Telegraphie.

214 **Die erſten Verſuche einer Nadel-Telegraphie.** Noch in demſelben Jahre, welches Oerſtedt's glänzende Entdeckung bezeichnet, ſprach ſich Ampère (Ann. de phys. et de chim. t. XV. p. 72) über ſeine

Idee zu einem elektromagnetiſchen Telegraphen folgendermaßen aus: »Mittelſt eben ſo vieler Magnetnadeln und Leitungsdrähte, als es Buchſtaben giebt und mit Hülfe einer entfernt ſtehenden Volta'ſchen Säule, deren Pole man nach einander mit den Enden der Leitungsdrähte verbindet, kann man, indem jede Nadel ein beſonderes Zeichen trägt, einen Telegraphen herſtellen, durch welchen man einer entfernt ſtehenden Perſon, die mit der Beobachtung der Nadeln und ihrer Zeichen beauftragt iſt, alle möglichen Mittheilungen machen. Wenn man bei der Säule ein Taſtenwerk anbrächte, deren Taſten mit denſelben Buchſtaben verſehen ſind, und welche die Säule durch ihr Niedergehen ſchließen, ſo könnte dieſes Correſpondenz-Mittel mit großer Leichtigkeit gehandhabt werden und würde nicht mehr Zeit erfordern, als nöthig wäre, um auf der einen Station die Taſten niederzudrücken, und auf der andern jeden abgelenkten Buchſtaben abzuleſen.«

Ritchie (Froriep's Notizen, Bd. 27, Nr. 6, S. 86) führte den Ampère'ſchen Vorſchlag mit einer zweckmäßigen Abänderung im Modelle aus. Dreißig Nadeln umgab er mit Multiplicatoren; jede Nadel trug einen leichten Schirm, welcher in dem Ruhezuſtande der Nadel einen Buchſtaben bedeckte und denſelben ſehen ließ, ſobald die Nadel unter dem Einfluſſe eines Stromes abgelenkt wurde.

Aehnliche Vorſchläge gingen von Fechner (Deſſen Lehrb. des Galvanismus, Leipzig 1829, S. 269, und Deſſen Repert. d. Exp.-Phyſ., 1832, I. S. 403) aus, und ſpäter haben Davy und Alexander in England derartige Nadelapparate im Kleinen zur Ausführung gebracht, in denen ſämmtliche Multiplicatoren einen einzigen, gemeinſamen Rückleitungsdraht hatten und alſo die ganze Drahtleitung beinahe auf die Hälfte reducirt war.

Erſt im Jahre 1832 gelang es dem ruſſiſchen Staatsrathe Schilling von Cannſtatt (Amyot in Abhandl. der Par. Akad. der Wiſſenſch. vom 9. Juli 1838), die telegraphiſchen Vorrichtungen ſo zu vereinfachen, daß ſie einer praktiſchen Ausführung fähig geweſen wären. Er wandte nämlich nur einen einzigen Multiplicator mit einer Nadel, überhaupt alſo nur zwei Leitungsdrähte an und konnte nun durch geeignete Combination von mehreren, bald links, bald rechts erfolgenden Nadelablenkungen alle erforderlichen Zeichen hervorbringen. Aber auch er hat es nicht vermogt, die mit der Ausführung ſeiner Ideen im Großen verbundenen Schwierigkeiten zu überwinden.

Die Nadeltelegraphen.

215 **Nadeltelegraph von Gauß und Weber.** So bleibt alſo die Ehre, den erſten brauchbaren elektriſchen Telegraphen angelegt zu haben, den beiden deutſchen Phyſikern Gauß und Weber vorbehalten, welche 1833 einen vereinfachten Apparat zum erſtenmale im Großen zur Ausführung brachten und anſtatt der bisher üblichen Volta'ſchen Säule den Inductionsſtrom anwandten.

Ihr telegraphiſcher Apparat beſtand aus einem Inductor, zur Erzeugung des Inductionsſtromes, aus einem Commutator und einem Obſervations-Apparate. Der Inductor war eine aus 1050, ſpäter aus 3537 Umwindungen beſtehende Drahtrolle, welche an zwei Griffen auf drei zuſammengelegte 25pfündige Magnetſtäbe raſch aufgeſtürzt und wieder davon abgezogen werden konnte. Die beiden Enden dieſer Drahtrolle ſtanden in Verbindung mit einem Commutator und durch dieſen mit den zwei iſolirten Leitungsdrähten, welche Weber über die Häuſer und Thürme der Stadt Göttingen zwiſchen der Sternwarte und dem phyſikaliſchen Kabinette ausgeſpannt hatte. An dem andern Ende waren dieſe Leitungsdrähte mit dem Drahtgewinde des Obſervations-Apparates verbunden. Dieſer letztere war ein Gauß'ſches Magnetometer, beſtehend aus einem kräftigen Multiplicator mit 4—25pfündigem Magnetſtabe, Spiegel und Fernrohr, durch welches die Zuckungen des Magnetſtabes beobachtet wurden, welche durch die auf der entgegengeſetzten Station erzeugten Inductionsſtröme hervorgerufen wurden. Dort entſtanden nämlich durch ein raſch hintereinander folgendes Aufſtürzen und Abziehen der Inductor-Rolle zwei einander entgegengeſetzte Inductionsſtröme, in Folge deren auf der andern Station der Magnetſtab innerhalb des Multiplicators keine weite Excurſion machen konnte, vielmehr nach einer kleinen Zuckung ſogleich wieder in ſeine Ruhelage zurückkehren mußte. Vermittelſt des Commutators konnte bei gleichbleibender Erregungsweiſe des Stromes dem nach dem Fernrohre hin gerichteten Magnetpole eine Ablenkung nach der Rechten oder nach der Linken gegeben werden.

Durch Combination dieſer zwei Elementarzeichen wurde das Alphabet gebildet, welches, da höchſtens vier dieſer Zeichen in einer einzigen Gruppe vorkamen, aus 30 Signalen, 20 Buchſtaben und 10 Ziffern beſtanden.

Indem Steinheil das Princip des Gauß'ſchen Telegraphen (Nadelablenkung und Inductionsſtrom) beibehielt, wandte er als Stromerreger eine Clarke'ſche Magneto-Elektriſirmaſchine und als Zeichengeber zwei innerhalb deſſelben Multiplicators aufgehängte Magnete an, welche von

der entfernten Station aus einzeln nach der Willkür des Telegraphiſten abgelenkt werden konnten und dann die Elementarzeichen entweder auf einen Papierſtreifen abdruckten oder durch Anſchlagen von Glocken hörbar angaben. Auf dieſe Weiſe entſtand der erſte Drucktelegraph, deſſen an dieſer Stelle nur vorübergehend Erwähnung geſchieht, weil er ſeiner Einrichtung nach unter die Drucktelegraphen gehört. Es muß jedoch hinzugefügt werden, daß Steinheil bei den Verſuchen, die er im Sommer 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eiſenbahn anſtellte, um zu erfahren, ob ſich die beiden Gleiſe einer Eiſenbahn als Leitung für den Telegraphen benutzen laſſen, zu der folgereichen Entdeckung gelangte, daß das Erdreich ſelbſt ſich als Leiter für den Strom benutzen laſſe und dadurch die Hälfte der Leitungskette erſpart werden könne. Anſtatt daher einen doppelten, hin- und zurücklaufenden Leitungsdraht anzuwenden, verband er auf jeder Station die Enden eines einzigen Drahtes mit einer großen, in das feuchte Erdreich eingegrabenen Metallplatte (gegenwärtig Erdplatte genannt) und erſetzte auf dieſe Weiſe die zweite Hälfte des Drahtes durch die zwiſchen den beiden Erdplatten befindliche feuchte Erdſchicht. (Aſtronom. Jahrb. von Schuhmacher für 1839, S. 171).

Steinheil iſt daher als der Erfinder der Drucktelegraphen und als Entdecker der galvaniſchen Erdleitung zu bezeichnen.

Cooke und Wheatſtone. Die erſten Telegraphen von Cooke, der 216
bei der Conſtruction derſelben zunächſt nur Eiſenbahnzwecke verfolgte, beſtanden aus einer einzigen, innerhalb eines Multiplicators aufgehängten Magnetnadel, deren zwei einfache Ablenkungen die auf einen Dampfwagenzug bezüglichen Worte »her« und »hin« bezeichneten. Später nahm er zwei Nadeln mit acht Signalen und führte ein ſolches Syſtem auf der Edingburg-Glasgow-Eiſenbahn aus. Im Juni 1837 nahm er in Verbindung mit Wheatſtone für England ein Patent auf einen zuſammengeſetzten Apparat mit fünf Nadeln und fünf Leitungsdrähten, der zwar bei Weitem vollkommener und bequemer war, als die früheren, aber im Vergleich zu den um dieſelbe Zeit in Deutſchland beſtehenden Einrichtungen von Steinheil als unpraktiſch und hinſichtlich der Leitung als höchſt koſtſpielig bezeichnet werden muß. Er kam zwar auf eine Länge von 39 engl. Meilen auf der Great-Weſtern-Eiſenbahn zur Ausführung, aber die Koſten waren ſo bedeutend, daß eine weitere Fortſetzung der Linie unterbleiben mußte.

Bei dieſem Syſteme ſtand auf jeder Station ein Rahmen mit fünf Multiplicatoren und Nadeln, nebſt einer Claviatur von eben ſo vielen Taſten und der Batterie. Die Multiplicatoren ſtanden einerſeits mit die-

ſen Taſten, andererſeits mit den fünf Leitungsdrähten in Verbindung und konnten durch Niederdrücken der Taſten mit der Batterie verbunden werden. In jedem Falle wurde der Strom gleichzeitig durch je zwei Multiplicatoren geleitet und dadurch wurden ſtets zwei Nadeln zugleich abgelenkt, jedoch nie in paralleler Richtung. Die 20 Convergenzpunkte dieſer Ablenkungsrichtungen waren mit Buchſtaben bezeichnet; eine jede Ablenkung gab daher direct den gewünſchten Buchſtaben an. — Durch Vermehrung der Anzahl der Leitungsdrähte um einen ſechsten wurden ſpäter noch fünf Signale hinzugenommen (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 56, 144 u. 213.)

217 **Cooke und Wheatſtone's neueſter einfacher und Doppelnadel-Apparat.** Die Mängel des vorigen Apparates wurden ſehr bald bemerklich; die vielen Leitungsdrähte machten die Anlage einer Linie ſehr koſtſpielig und waren auf die Dauer nicht in demjenigen Zuſtande der Iſolation zu erhalten, der für ein verläßliches Arbeiten durchaus nothwendig war. Die Erfinder gaben daher ihr Syſtem auf und indem ſie auf das directe Signaliſiren der Buchſtaben verzichteten, adoptirten ſie das Gauß'ſche Syſtem und ſtellten die Signale durch Combination der zwei Ausſchläge von einer oder höchſtens von zwei Magnetnadeln dar.

Die Fig. 186 (ſ. f. S.) zeigt die vordere Anſicht eines Nadeltelegraphen mit der Signalſcheibe. Ein verticalſtehender Multiplicator befindet ſich innerhalb des Gehäuſes, auf deſſen Außenſeite ſich das Zifferblatt und ein Zeiger befindet. Unterhalb deſſelben iſt ein Griff angebracht, durch deſſen Drehung nach rechts und nach links die Richtung des Stroms im Multiplicator ſo regulirt wird, daß der Zeiger auf dieſem Zifferblatte immer dieſem Griffe parallel nach der Rechten oder der Linken abgelenkt wird. Zur Seite der Nadel befinden ſich kleine Anhaltſtifte, welche den Ausſchlag der Nadel innerhalb einer kleinen Gränze geſtatten.

Die innere Einrichtung dieſes Apparates iſt aus Fig. 187 (ſ. f. S.) zu erſehen. *A* iſt der Multiplicator, welcher durch einen etwa 400 Fuß langen dünnen überſponnenen Kupferdraht gebildet wird, der auf einem Rahmen von dünnem Meſſingblech aufgewunden iſt. Die beiden Abtheilungen der Multiplicatorwindungen ſind in unſerer Zeichnung abſichtlich etwas weiter auseinander gerückt, als es in der Wirklichkeit ſein darf, damit die Einrichtung beſſer überſehen werden kann. Eine horizontale, durch die Mitte des Rahmens hindurchgehende Axe trägt nun zwei Nadeln, von denen die eine, innerhalb des Rahmens liegend, theilweiſe in unſerer Figur ſichtbar iſt, während die andere, auf der Vorderſeite des Kaſtens liegend, zugleich als Zeiger dient. Beide Magnetnadeln ſind

Fig. 186.

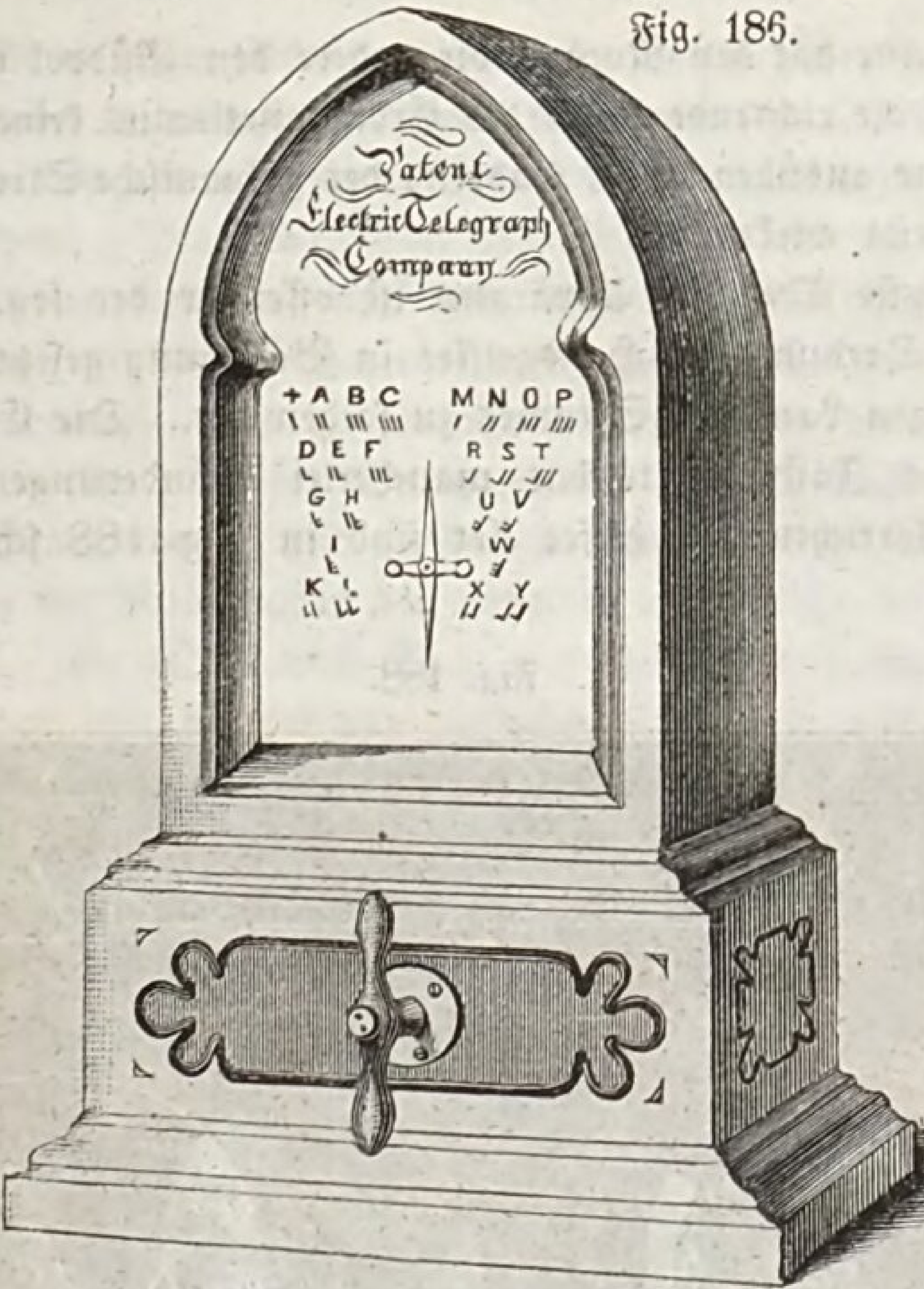
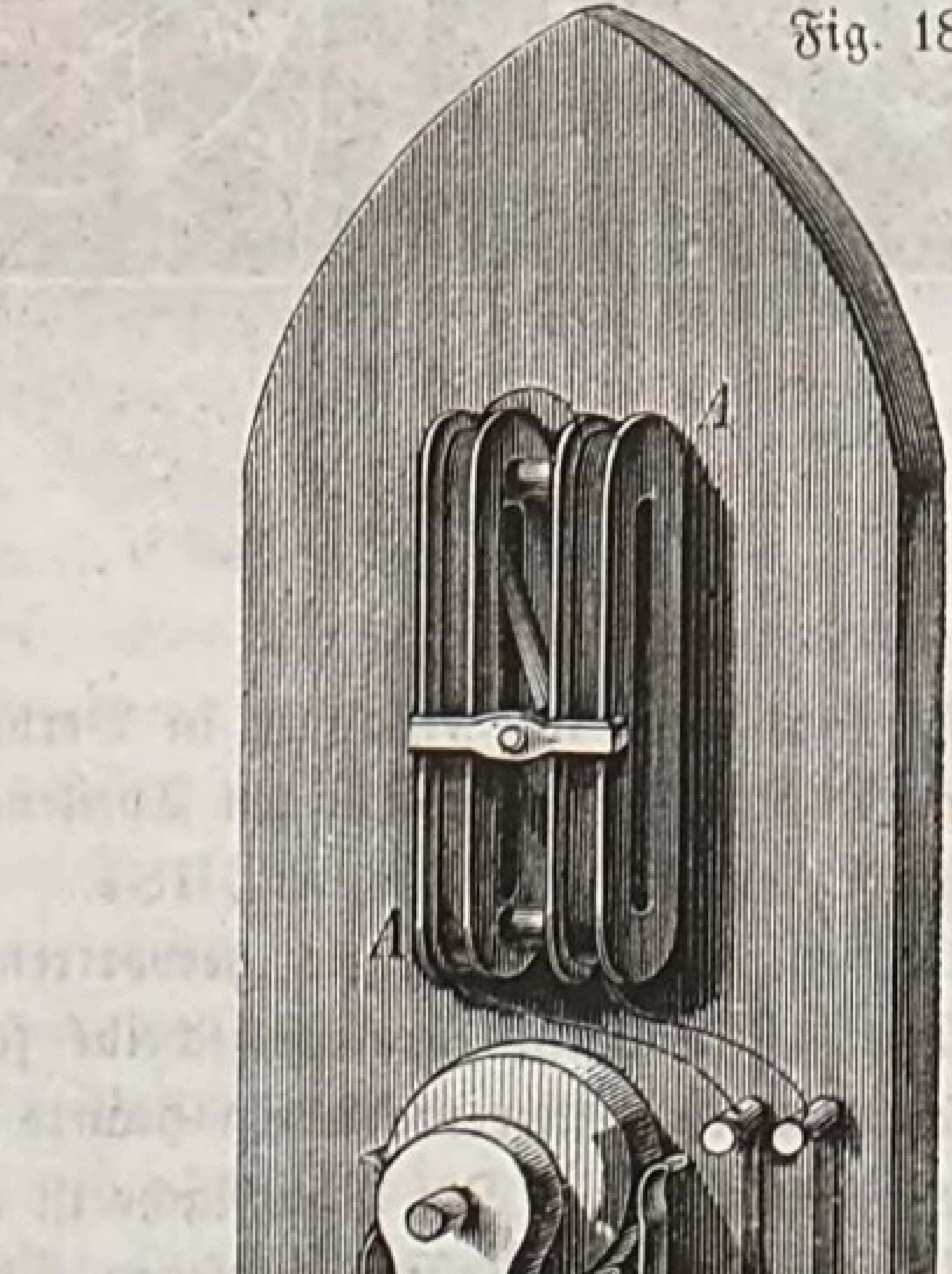


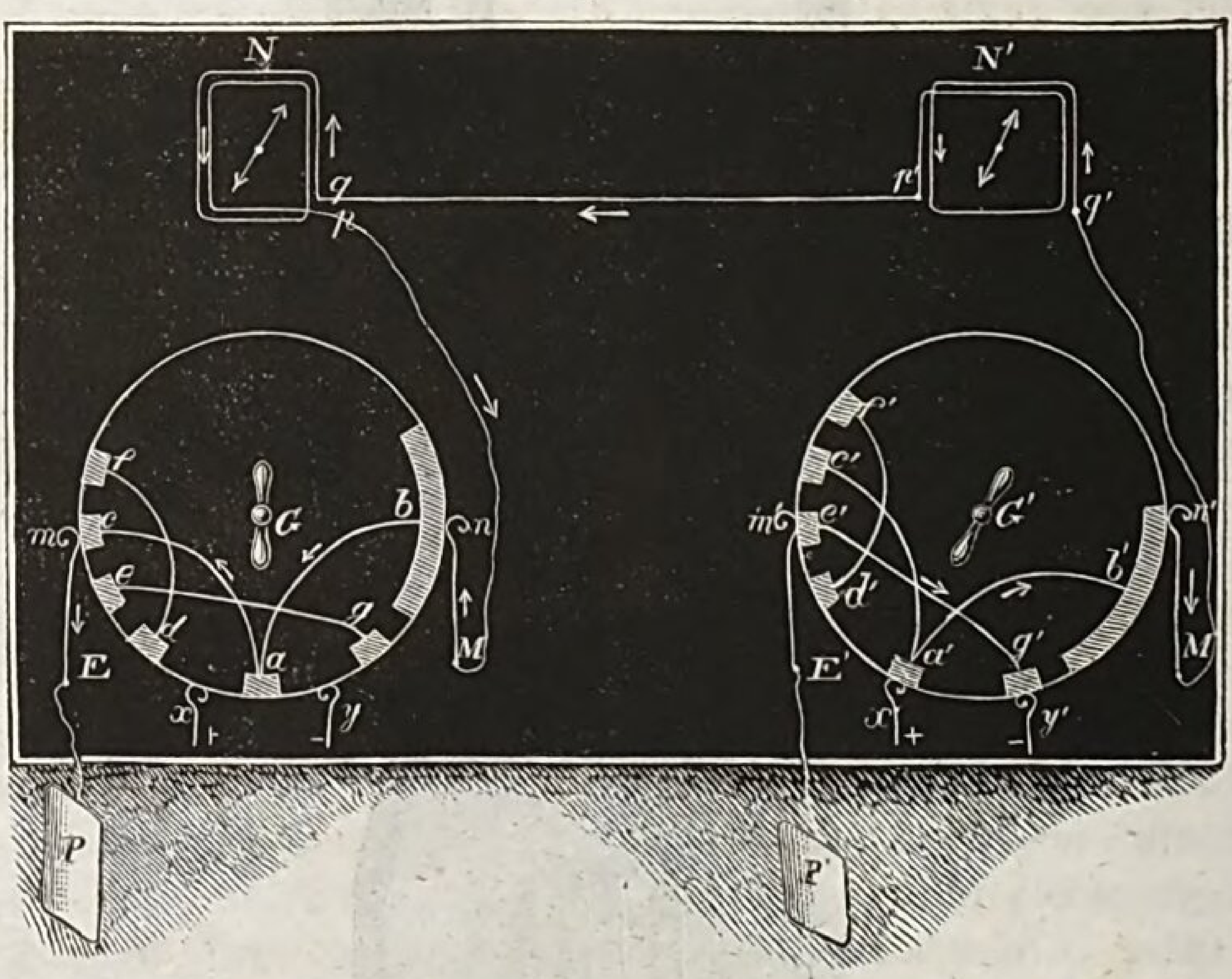
Fig. 187.



parallel; die eine hat den Nord=, die andere den Südpol nach unten gekehrt, ſo daß die richtende Kraft des Erdmagnetismus keine Wirkung auf das Nadelpaar ausüben kann, während der galvaniſche Strom in gleichem Sinne auf beide wirkt.

Der wichtigſte Theil des Apparates iſt offenbar der ſog. **Schlüſſel**, der durch die Drehung des Handgriffes in Bewegung geſetzt wird und der für den richtigen Lauf des Stromes zu ſorgen hat. Die Einrichtung dieſes Theils des Inſtruments hat mancherlei Abänderungen erlitten; die einfachſten Vorrichtungen dieſer Art ſind in Fig 188 ſchematiſch abgebildet.

Fig. 188.



Die Figur bezieht ſich auf zwei mit einander in Verbindung ſtehende Stationen Wie der Schlüſſel mit den übrigen Theilen des Apparates in Verbindung gebracht iſt, erſieht man aus Fig. 187.

G iſt der auf der Außenſeite des Gehäuſes hervortretende Griff des Schlüſſels. Auf der Axe deſſelben ſitzt eine Holzſcheibe feſt, welche ſich demnach innerhalb einer durch Aufhälter markirten Gränze nach der Rechten und nach der Linken drehen läßt. Die Randfläche iſt mit ſieben Contactſtücken, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, von Meſſing verſehen, deren Zwiſchenräume durch Elfenbein ausgefüllt ſind. Auf der Vorderſeite der Scheibe ſind einige dieſer Contactſtücke, nämlich *a* mit *b* und *c*, *f* mit *d*, ſowie *e* mit *g* durch Metallſtreifen, die ſich nicht berühren, mit einander verbunden.

Gegen den Rand dieſer Scheibe federn vier Contactfedern, x, y, m, n, von denen die zwei erſteren, x, y, mit den Polen der Batterie, m mit der Erdplatte und n mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes N in Verbindung ſtehen. Die Anordnung der Scheiben und ihrer Federn iſt auf beiden Stationen dieſelbe, mit dem alleinigen Unterſchiede, daß auf der einen Station (links) die Feder n mit dem Anfangspunkte p des Multiplicatordrahtes N, auf der andern Station aber dieſelbe Feder n' mit dem Endpunkte q' dieſes Drahtgewindes N' verbunden iſt. Die beiden andern Drahtenden q und p' ſind an dem Leitungsdrahte befeſtigt.

Im Zuſtande der Ruhe haben die Scheiben und Griffe G, G' die verticale Stellung, wie es der linke Theil der Zeichnung darſtellt. Dabei ſind die Batterien von der Leitung ausgeſchloſſen, alſo offen, da ihre Polfedern x, y nicht mit dem Metalle der Schlüſſel in Berührung ſtehen.

Wird aber, wie es bei G' zu ſehen iſt, der Schlüſſel ſo gedreht, daß der obere Theil des Griffes nach der Rechten zeigt, ſo wird dadurch die Batterie dieſer Station in die Leitung eingeſchaltet und der Strom circulirt in der Richtung:

Pol + $x' a' b' n' M' q' p'$, Leitung, $q\,p\,M\,n\,b\,a\,c\,m\,E\,P$, Erde, $P' E' m' e' g' y'$.— Pol.

Die Art der Windungen der Multiplicatoren N, N' iſt nun eine ſolche, daß bei dieſer Richtung des Stromes die Nadeln dieſelbe Ablenkung erleiden, welche dem Griffe G' gegeben war.

Eine Drehung des Griffes G' von der verticalen Stellung aus nach der Linken würde den Strom in folgender Richtung durch die Apparate ſenden: Pol + $x' d' f' m' E' P'$, Erde, $P E m c a b n M p q$, Leitung, $p' q' M' n' b' a' y'$ —Pol, alſo in einer der vorigen entgegengeſetzten Richtung, woher dann die Nadeln in entgegengeſetzter Richtung, d. h. links abgelenkt werden.

Die Zeichen werden nun durch verſchiedenartig combinirte Ausſchläge der Nadel gegeben. Das Alphabet iſt auf der vordern Seite des Inſtruments ſelbſt aufgezeichnet. \ bezeichnet einen Ausſchlag des obern Nadelendes nach der linken, / ein ſolches nach der rechten Seite. So iſt z. B. A durch zwei Ausſchläge nach der linken, N durch zwei Ausſchläge nach der rechten bezeichnet. — Ein Theil der ſchrägen Striche iſt halb ſo lang als die übrigen, wodurch ausgedrückt ſein ſoll, daß unter den zuſammenhängenden Strichen die kurzen zuerſt zu ſignaliſiren ſind; ſo iſt z. B. ausgedrückt: E durch rechts, links, links; I iſt ausgedrückt durch rechts, rechts, rechts, links; L = rechts, links, rechts, links; R = links, rechts; Y = links, rechts, links, rechts u. ſ. w.

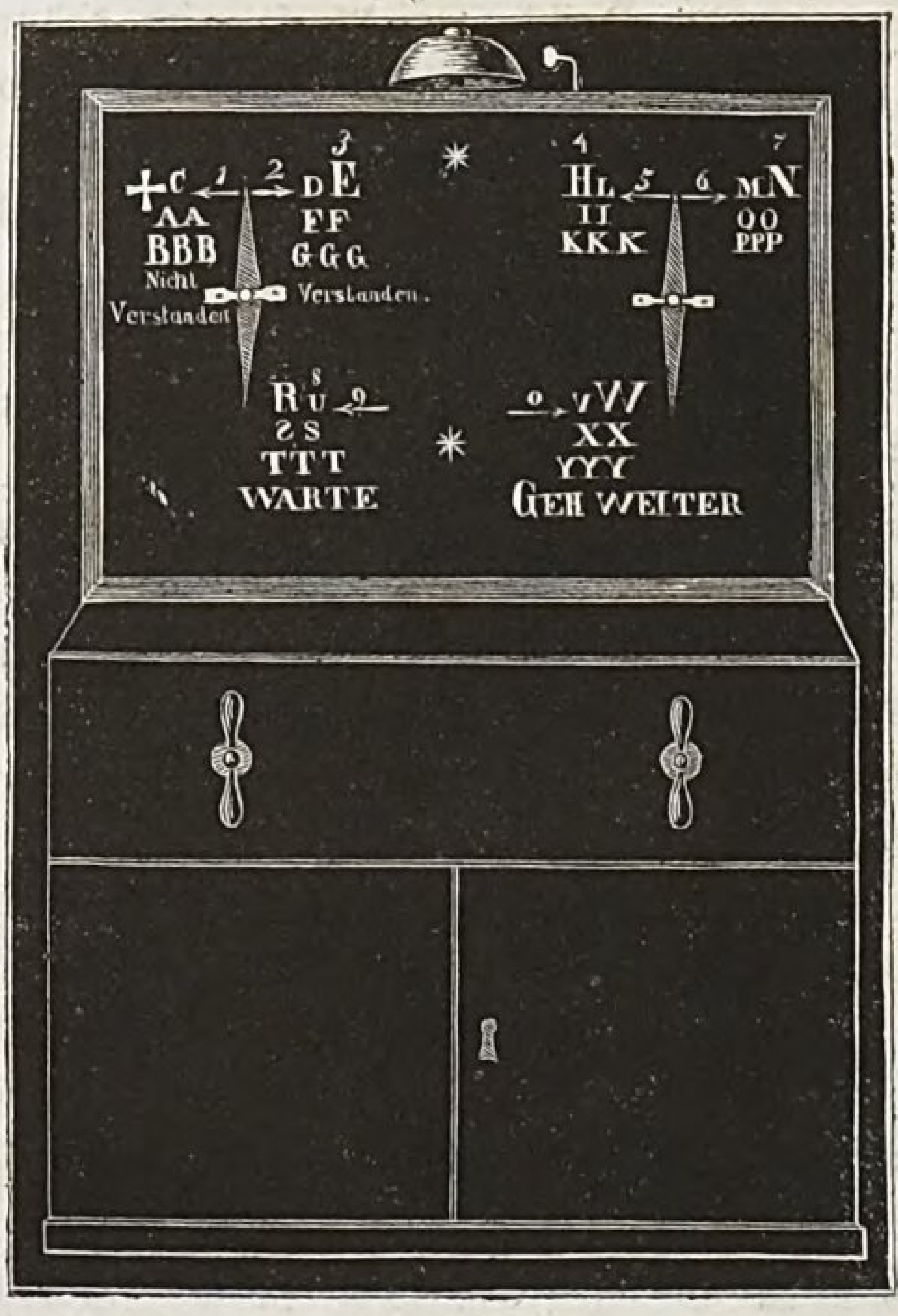
Dieſe Zeichen ſind zum Theil etwas complicirt und ihre Ausführung iſt ziemlich zeitraubend, weil ein großer Theil der Buchſtaben drei und

vier Ausſchläge erfordert. Dieſem Uebelſtande iſt nun durch den Doppelnadel-Telegraph abgeholfen; ein ſolches Inſtrument hat zwei Multiplicatoren der beſchriebenen Art, zwei Nadelpaare, zwei Schlüſſel u. ſ. w.; kurz, es iſt als die Combination zweier einfacher Nadel-Telegraphen zu betrachten. Es erfordert natürlicherweiſe außer der Erdleitung noch zwei Leitungsdrähte, außerdem noch eine Glocke nebſt Uhrwerk (Alarm), um durch Klingeln auf den Anfang des Telegraphirens aufmerkſam zu machen. Ueber die Einrichtung dieſes Läutewerkes ſpäter.

Solche Doppelnadel-Inſtrumente arbeiten gegenwärtig faſt auf allen Telegraphenlinien Englands, ſo wie zum größten Theile auch in Belgien und andern Ländern.

Fig. 189 zeigt die Vorderanſicht eines ſolchen Apparates mit der Signalſcheibe.

Fig. 189.



Die auf der oberen Hälfte des Zifferblatts befindlichen Zeichen werden durch das Ausſchlagen einer einzigen Nadel, die unteren Zeichen aber durch beide Nadeln hervorgebracht.

Die linke Nadel giebt durch einmaliges Ausſchlagen nach links +, als Zeichen für das Wortende, nach rechts *E*; durch zweimaliges Ausſchlagen nach links *A*, nach rechts *F*; durch dreimaliges Ausſchlagen nach links *B*, nach rechts *G*; durch zwei Ausſchläge erſt rechts, dann links *C*, erſt links, dann rechts *D*. Auf dieſelbe Weiſe giebt die rechte Nadel die Buchſtaben *H*, *N*, *I*, *O*, *K*, *P*, *L*, *M*. Eine parallele Bewegung beider Nadeln mit ihren untern Enden giebt die untern Zeichen an und zwar durch ein einmaliges Ausſchlagen nach links *R*, nach rechts *W*; durch zweimaliges Ausſchlagen nach links *S*, nach rechts *X*, durch dreimaliges Ausſchlagen nach links *T*, nach rechts *Y*.

Außerdem befinden ſich noch auf dem Zifferblatte die Ziffern und die Worte »Verſtanden«, »Nicht verſtanden«, »Warte«, »Geh weiter«. Der Zeichengeber giebt nach jedem Wortende +, worauf der Empfänger das Zeichen E giebt, wenn er verſtanden hat, und + giebt, wenn er nicht verſtanden hat.

Der Uebergang von den Buchſtaben zu den Ziffern wird von dem Geber dadurch angezeigt, daß er nach dem Wortende + ein H und ſogleich darauf wieder + ſignaliſirt; der Uebergang von den Ziffern zu den Buchſtaben erfolgt auf demſelben Wege. Die Ziffern werden durch die am leichteſten darzuſtellenden Buchſtaben repräſentirt, nämlich $1 = C$, $2 = D$, $3 = E$, $4 = H$, $5 = L$, $6 = M$, $7 = N$, $8 = R$, $9 = U$, $0 = V$.

Der Uebergang von der öffentlichen Correſpondenz zur geheimen mittelſt des Signallexicons wird durch die Reihenfolge der Zeichen + N + angezeigt.

Iſt der Telegraphiſt bei der Ankunft einer Depeſche bereits beſchäftigt, oder wird er ſonſt unterbrochen, ſo giebt er durch die Zeichen + R + das Signal »Warte«; iſt er im Stande, die Depeſche entgegenzunehmen, ſo giebt er durch + W + das Signal »Geh weiter«.

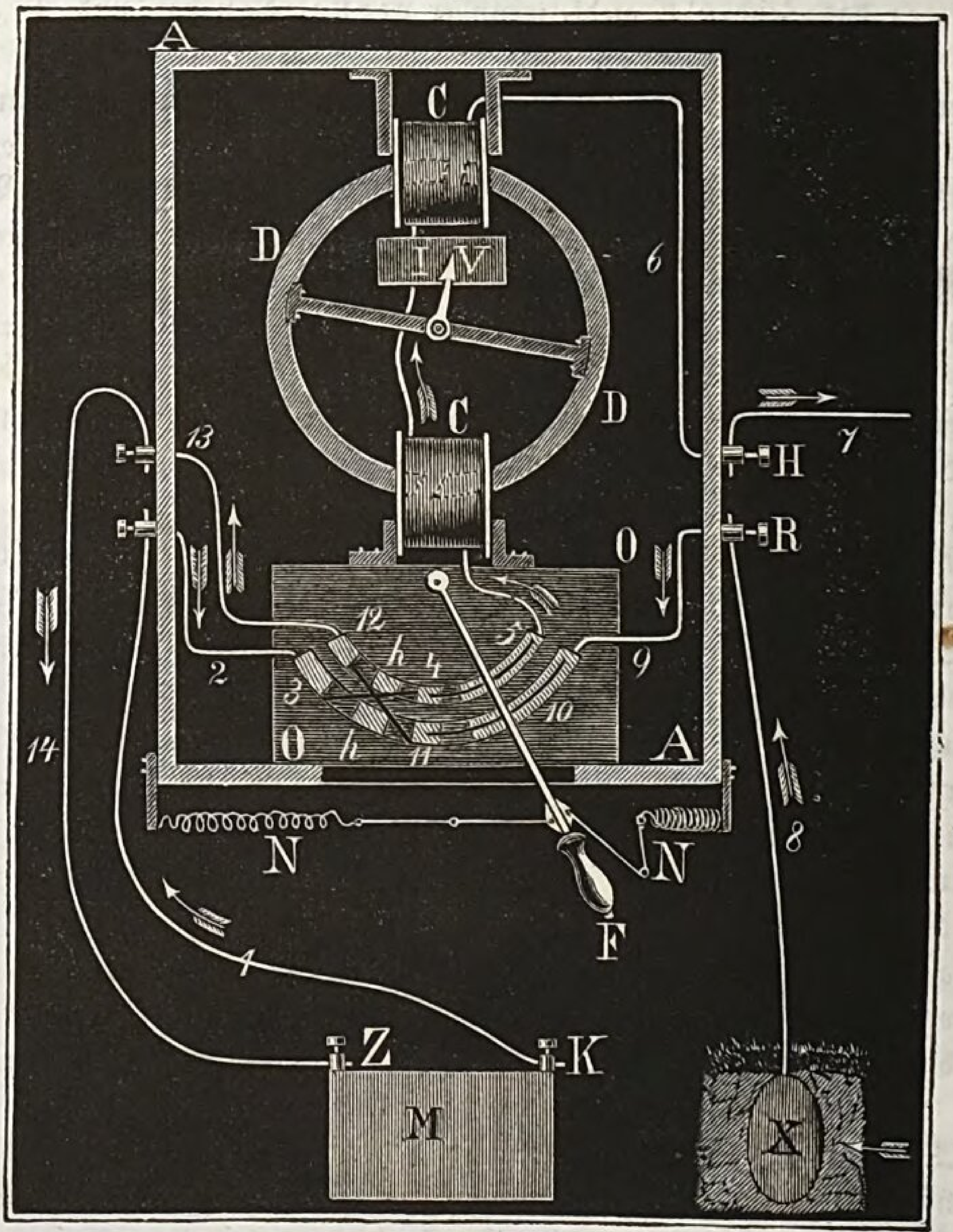
Auch in Oeſterreich bedient man ſich gegenwärtig noch der Nadelapparate, jedoch von einer andern durch A. Bain aus Edinburg erfundenen Conſtruction (Dinglers Journ. Bd. 101. S. 75). Bain wendet nur eine einzige Nadel an und combinirt das Alphabet und die Ziffern durch Gruppen von höchſtens vier Nadelausſchlägen.

Fig. 190 (ſ. f. S.) zeigt die innere Einrichtung dieſes Apparats.

Zwei halbkreisförmige Stahlmagnete bilden einen an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen unterbrochenen Kreis und ſind zu dem Ende an einer um eine horizontale Axe drehbaren Meſſingſtange befeſtigt, welche den Durchmeſſer des Magnetkranzes bildet. Die Unterbrechungsſtellen zwiſchen den beiden mit gleichnamigen Polen einander genäherten Magneten liegen in der Höhlung zweier Holzſpuhlen, welche von einem einzigen continuirlichen Kupferdrahte umwunden ſind: das eine Ende deſſelben ſteht in feſter Verbindung mit der Leitung, das andere mit einem Commutator, deſſen Aufgabe darin beſteht, bald dem von der andern Station kommenden Strome freien Durchgang durch die Drahtſpulen zu verſchaffen, bald auch den Strom der eigenen Batterie nach Willkür in der einen oder der andern Richtung durch die Leitung hindurchzuſenden. Der Bain'ſche Commutator iſt zwar ſinnreich, aber nicht bequem beim ſchnellen Operiren; er iſt daher in den öſtreichiſchen Staatstelegraphen durch eine von dem Mechanikus Ekling in Wien erfundene, in Fig. 191 (ſ. S. 571) abgebildete Vorrichtung erſetzt.

Die beiden Drahtſpulen und ihre Magnete liegen in dem Käſtchen C; die verlängerte Axe i der letztern trägt den Zeiger P, der bald auf I, bald

Fig. 190.

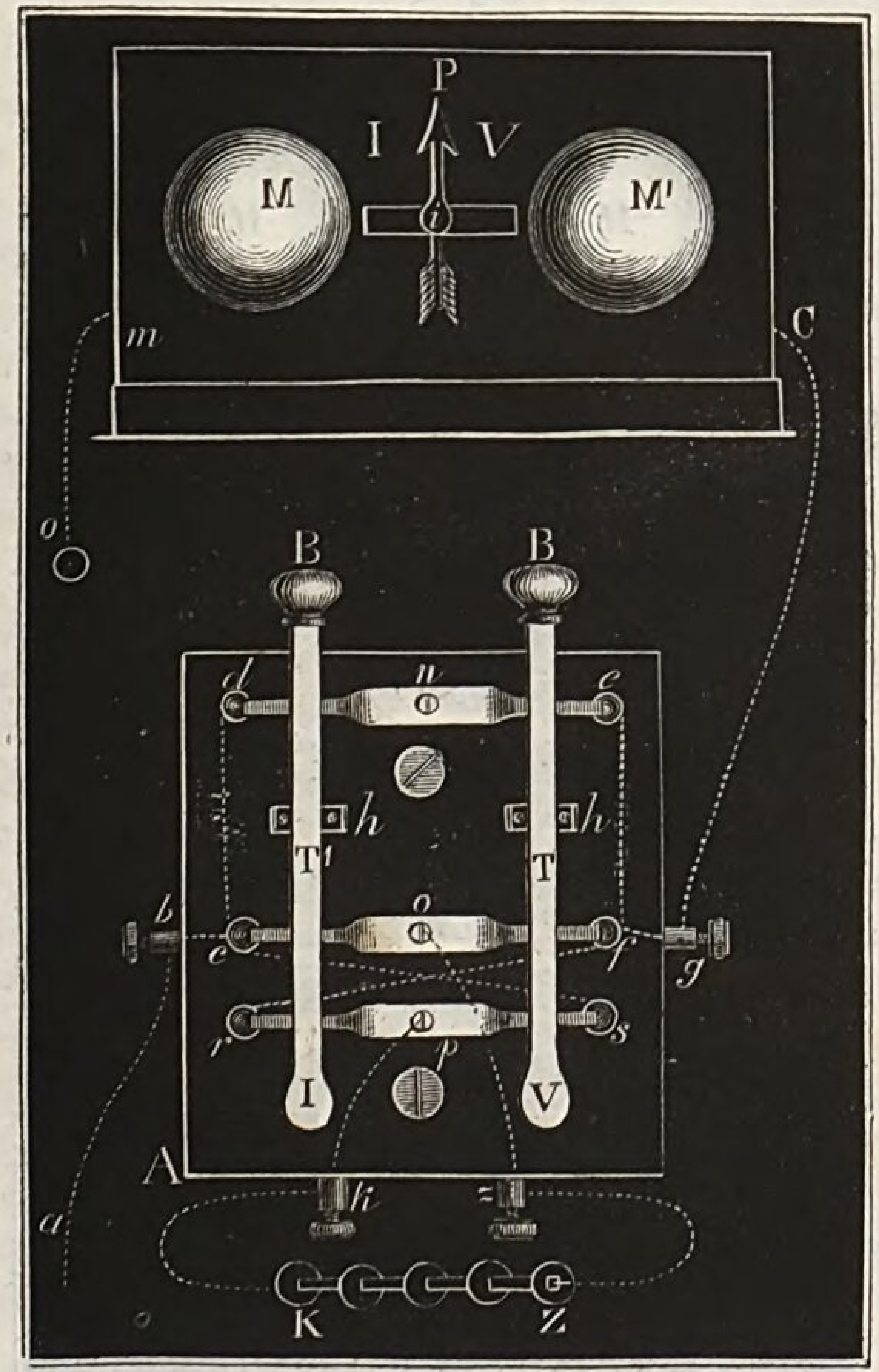


auf V zeigt und dabei zugleich gegen die verſchieden geſtimmten Metallglöckchen M, M' anſchlägt.

A iſt der Commutator; T, T' zwei um h, h drehbare Handhaben, welche durch die Bleiſtücke B B im Ruheſtande abwärts liegen, die Feder n mit d und e in Berührung erhalten, dagegen die Federn o und p frei laſſen, ſo daß dieſe nicht mit den Contactſtücken c, f, r, s in Verbindung ſtehen. KZ ſtellt die Batterie dar; bei C tritt das eine Ende des die Holzſpulen umwindenden Drahtes aus dem Käſtchen und geht zu g des Commutators, bei m das andere und geht in o zu dem Leitungs-

drahte; *ba* führt zu der Erdplatte; die metalliſche Verbindung der Federn und der einzelnen Contactſtücke iſt durch punktirte Linien angezeigt.

Fig. 191.

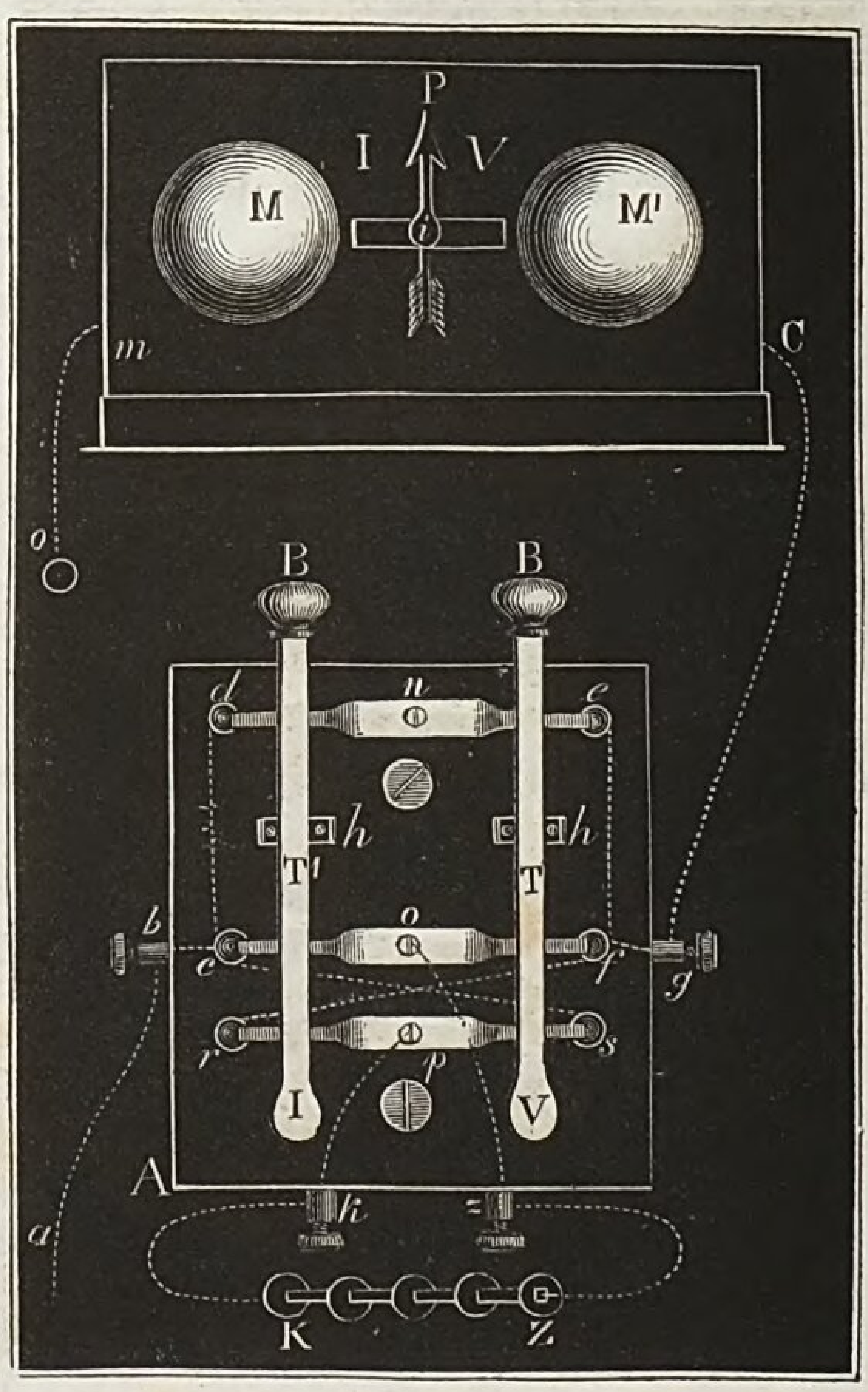


Im Ruhezuſtande, wo für das Ankommen einer Depeſche die Leitung geſchloſſen, die Batterie offen ſein muß, liegen *BB* nieder. Ein von der andern Station kommender Strom tritt bei *o* und *m* in den Apparat, circulirt um die Holzſpulen, tritt bei *C* aus und bei *g* in den Commutator und von hier über *f*, *e*, *d*, *c* und *b* durch *ba* in die Erde, um zu der andern Station zurückzugelangen. Es wird dadurch der Zeiger *P* je nach der Richtung des Stromes auf *I* oder *V* abgelenkt.

Will der Telegraphiſt der entfernten Station das Zeichen *I* geben, ſo drückt er die Taſte *I* nieder; der Strom der Batterie *KZ* nimmt dann

die Richtung durch *Kkprfgcm* zu der Leitung und zu der andern Station, durchläuft dort den Apparat in der vorhin angegebenen Weiſe,

Fig. 192.



kommt durch den Erddraht bei *b* wieder zurück und gelangt über *c*, *o*, *z* zu dem Pole *Z* der Batterie. Ein Niederdrücken der Taſte *V* würde den Strom in entgegengeſetzter Richtung durch die Apparate und die Leitung geführt haben, was ſogleich erſichtlich iſt, wenn man bemerkt, daß dann *n* mit *d* und *c*, *f* mit *o* und *z*, *s* mit *p* und *k* in Verbindung ſteht, während *c* mit *o* und *z*, *r* mit *p* und *k* nicht mehr leitend verbunden iſt.

Die Zeigertelegraphen oder die rotirenden Telegraphen.

Die zweite große Claſſe von elektrotelegraphiſchen Vorrichtungen umfaßt diejenigen Apparate, in denen ein Zeiger durch irgend welchen Mechanismus vor einer mit Buchſtaben und Ziffern beſetzten Scheibe rund läuft und nach der Willkür des entfernt ſtehenden Telegraphiſten vor dem einen oder dem andern dieſer Zeichen angehalten werden kann. 218

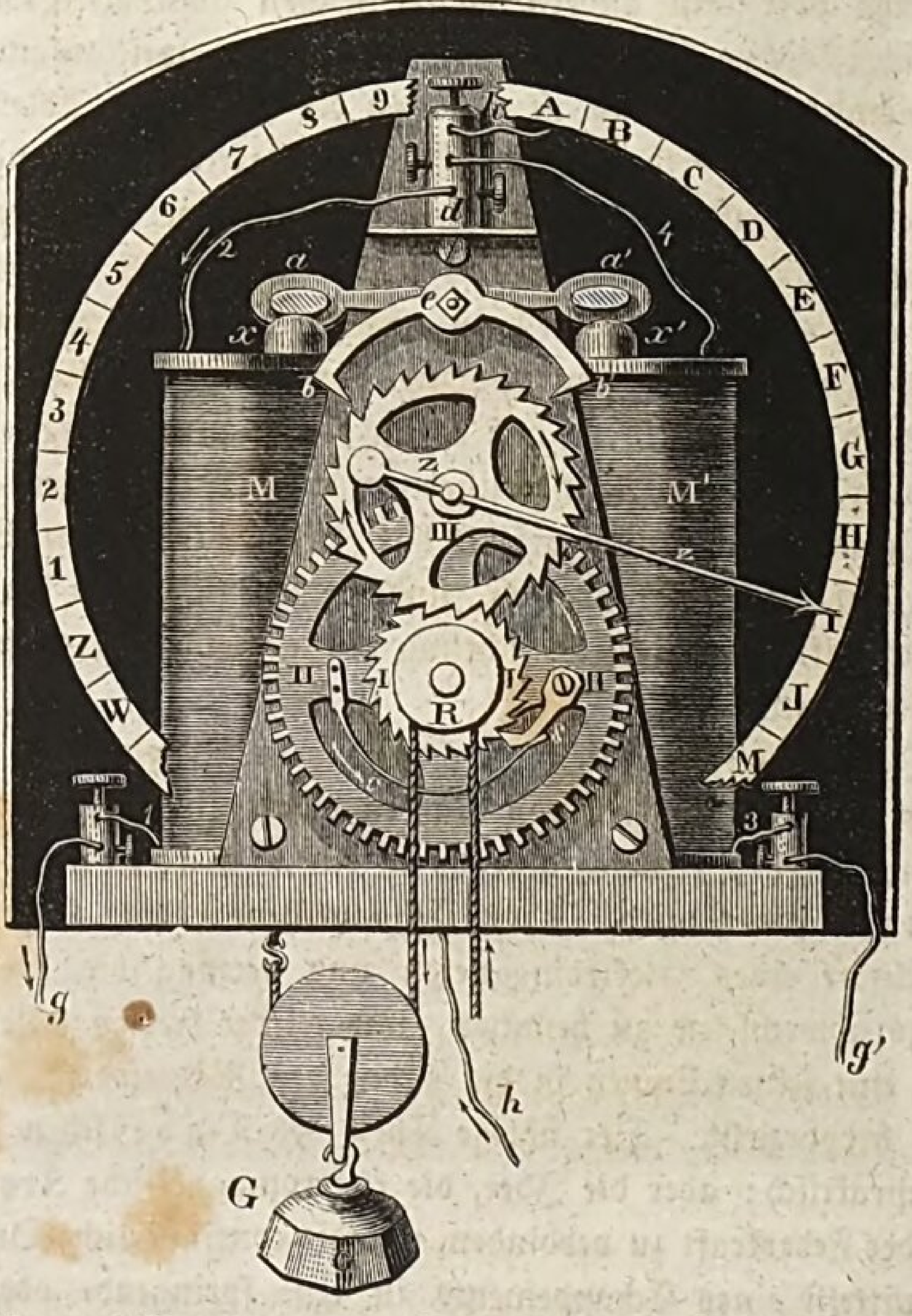
Da zu einer ſolchen Bewegung des Zeigers ein weit zuſammengeſetzterer Mechanismus erforderlich iſt, als zu der einfachen Ablenkung einer Magnetnadel, und insbeſondere die Gleichmäßigkeit des Ganges und die fortdauernde Uebereinſtimmung der Zeiger zweier correſpondirender Apparate nur durch ganz eigenthümliche Einrichtungen erzielt werden kann, zugleich aber auch gut, d. h. ſchnell und ſicher, arbeitende Zeigertelegraphen gegenwärtig den entſchiedenſten Vorzug vor allen Nadeltelegraphen verdienen, ſo wird man begreifen, daß es an den mannichfaltigſten Vorſchlägen von neuen, oder an Abänderungen und Verbeſſerungen von bereits bekannten Zeigerſyſtemen nicht gefehlt hat. Trotz der großen Vollkommenheit der preußiſchen Zeigerapparate, ſind die Bemühungen der ausgezeichnetſten Mechaniker nach dieſer Richtung hin gegenwärtig noch nicht zum Abſchluß gekommen.

Am 4. Januar 1839 erhielt E. Davy ein Patent auf einen Telegraphen, in dem ein Syſtem von Rädern durch ein ablaufendes Gewicht in Bewegung geſetzt, zugleich aber durch ein Echappement oder eine Hemmung regulirt wird. Das Echappement erhält ſeine Bewegung durch den Anker eines Elektromagneten und vermag die Bewegung des Räderwerkes abwechſelnd zu hemmen, und wieder frei zu laſſen, je nachdem es ſich mit ſeinen Lippen in die Zähne des Räderwerkes einlegt oder ſich daraus hervorzieht. Der übrige Theil des Davy'ſchen Telegraphen iſt ganz unpraktiſch; aber die Idee, die elektromagnetiſche Kraft mit einer Gewicht- oder Federkraft zu verbinden, und die continuirliche Drehung eines Rades vermittelſt eines Echappements in eine ſpringende oder abſetzende zu verwandeln, war höchſt fruchtbar. Ein Jahr ſpäter (1840) hatten dieſe Theile unter den Händen Wheatſtone's in einem ganz neuen Signal-Apparate diejenigen praktiſchen Abänderungen erhalten, durch welche die elektromagnetiſche Telegraphie einer neuen Entwickelungsperiode entgegengeführt wurde.

Ein Wheatſtone'ſcher Zeigerapparat mit ſeinen Haupttheilen, dem Communicator oder dem Zeichengeber und dem Indicator oder dem Zeichenbringer ohne Gewichtwerk, iſt bereits in dem

Lehrbuch der Phyſik, 3. Aufl. II. S. 218 beſchrieben. Wheatſtone ſelbſt übertrug die Bewegung des Indicators einem Laufwerke, welches, wenn es frei geweſen wäre, den Zeiger vor der Signalſcheibe mit beſchleunigter Geſchwindigkeit herumgetrieben haben würde, aber in ſeinem Laufe durch ein Echappement bald arretirt, bald freigelaſſen wurde, und dadurch den Zeiger ſprung- oder ruckweiſe von einem Buchſtaben auf den andern fortſchreiten ließ. Die Fig. 193 zeigt eine ſolche ſchon ver-

Fig. 193.



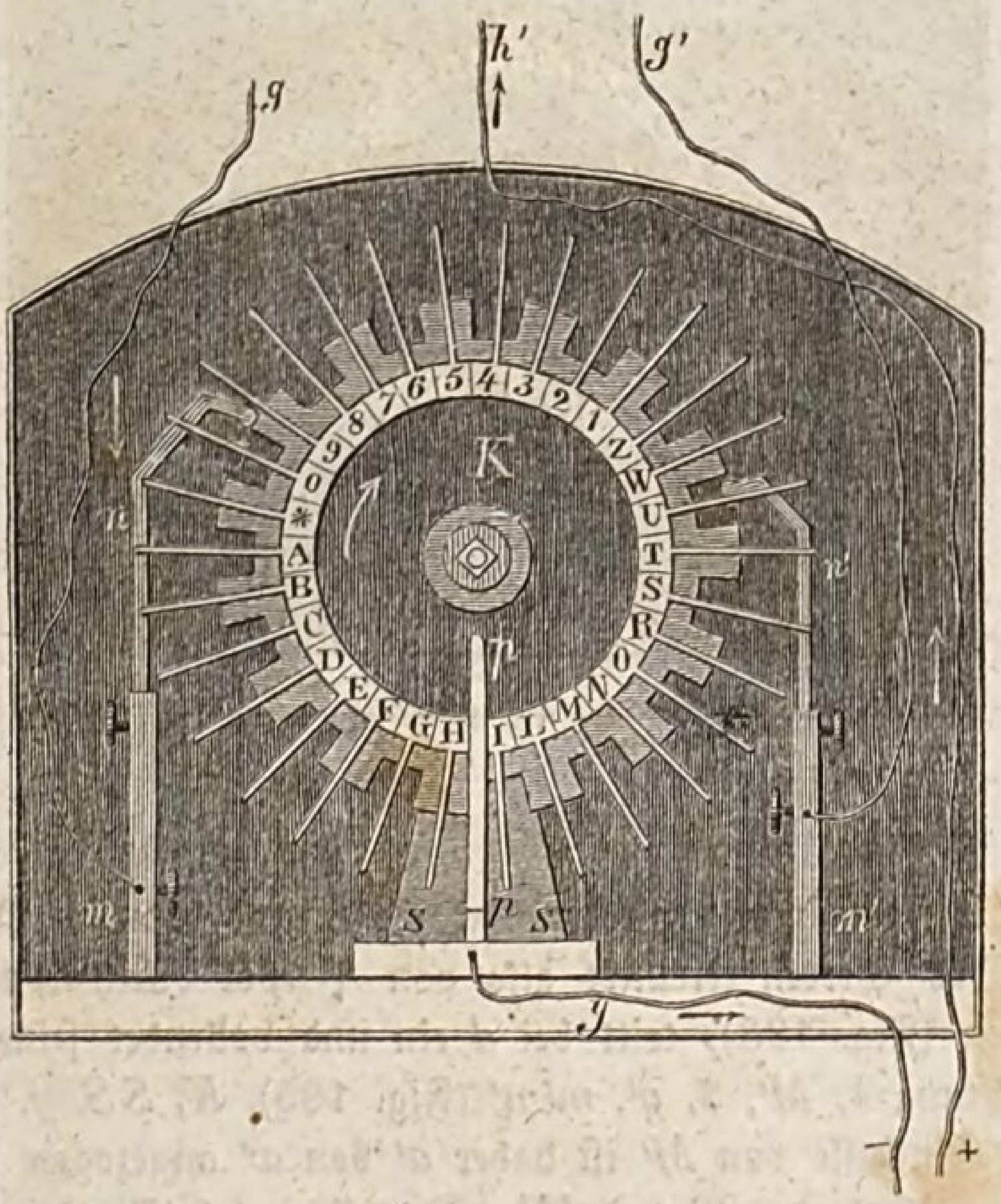
beſſerte Indicator-Vorrichtung. Das Gewicht G, deſſen Schnur über die mit dem Sperrrade I verbundene Rolle R geſchlungen iſt, ſetzt die Räder II und III in Bewegung. Die Axe des letzten Rades geht nach der Vorderſeite des Apparates durch denſelben hindurch und trägt hier den Zeiger zz', welcher an dem auf dem Zifferblatte eingegrabenen Buchſtaben und Ziffern vorbeiläuft.

Die Elektromagnete M, M' wirken abwechſelnd mit ihren Polen x, x' auf den mit dem Echappement $b\,b'$ verbundenen zweiarmigen Hebel $a\,a'$,

ſo daß, wenn a von x angezogen iſt, der Haken b in den Zähnen des Rades III einliegt, b' aber dieſes Rad frei läßt. Die Enden 1, 3 der Umwindungsdrähte der Elektromagnete M, M' ſtehen durch Klemmen mit den zwei Leitungsdrähten g, g', die beiden anderen Enden 2, 4 aber durch das Meſſingſäulchen d mit einem dritten Leitungsdrahte h in Verbindung.

Der Communicator Fig. 194 hat den Zweck, den Strom abwechſelnd bald durch den Draht g um den Elektromagneten M (Fig. 193),

Fig. 194.

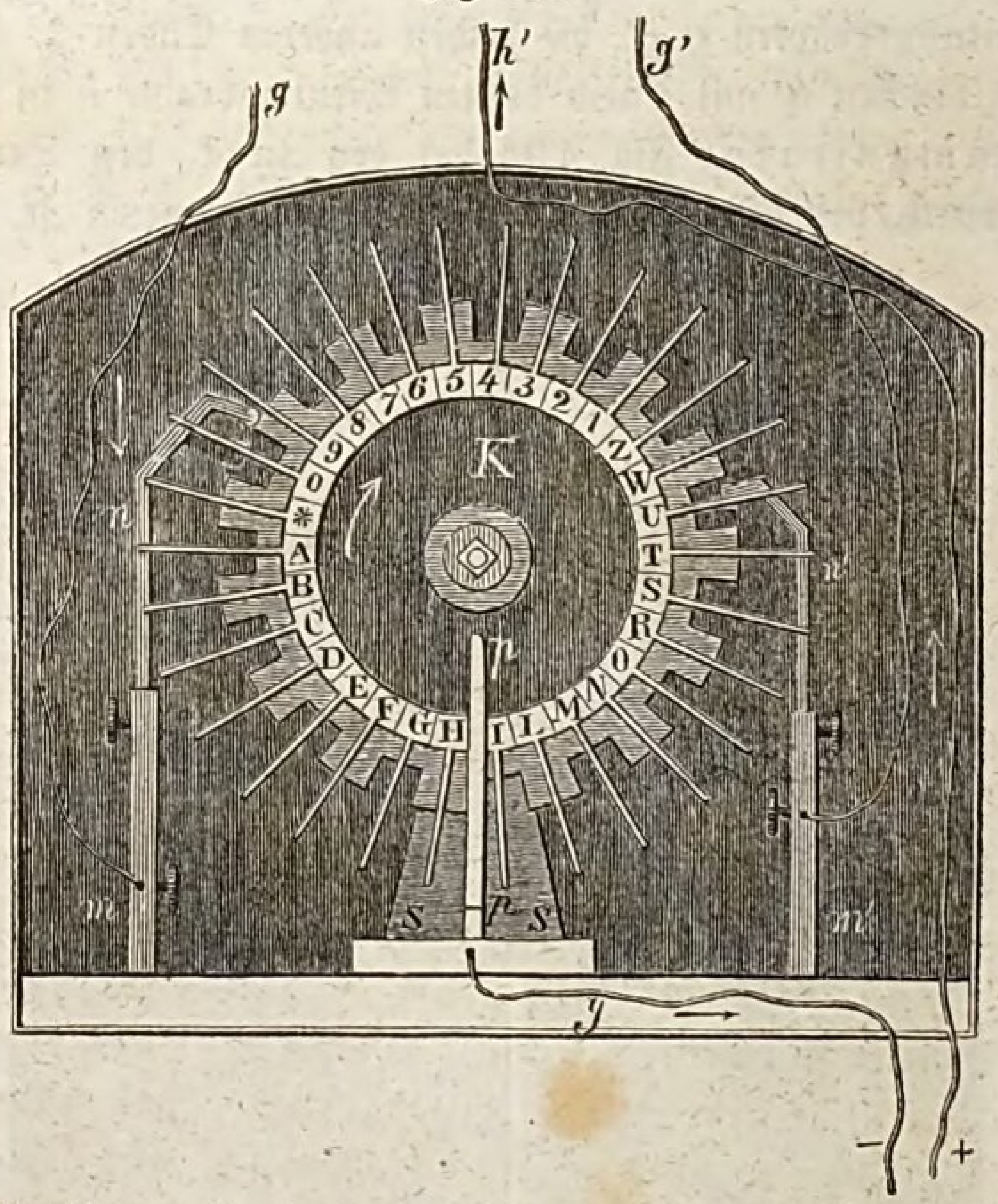


bald durch g' um M' zu leiten. Er beſteht aus einer Meſſingſcheibe K, deren Rand in regelmäßiger Folge halb ſo viele Ausſchnitte enthält, als Zeichen auf der Indicatorſcheibe vorhanden ſind. n, n' ſind zwei Meſſingfedern, deren Enden bei der Drehung der Scheibe K abwechſelnd über die Oberflächen der Randvorſprünge und der Einſchnitte leicht federnd hinweggleiten. Sie ſtehen mit den zwei Leitungsdrähten g, g' (Fig. 193) in Verbindung, während der meſſingene Ständer SS, auf dem die Axe der Scheibe ruht, durch einen Draht y mit dem — Pole der Batterie verbunden iſt; der + Pol derſelben ſteht mit dem dritten Leitungsdraht h in Verbindung.

Die Wirkungsweiſe eines ſolchen Zeigerapparats iſt leicht zu überſehen. In der Ruhelage ſteht im Indicator (Fig. 193) der Zeiger $z\,z$ auf dem

Zeichen ✱ zwiſchen 0 und A; im Communicator (Fig. 195) ſteht dem entſprechend die Speiche ✱ an dem Markirſtäbchen pp. In dieſer Stel-

Fig. 195.



lung ſteht die Feder $n'm'$ mit der Scheibe K und dem — Pole in Verbindung. Der Strom circulirt alſo von + Pol durch h nach der andern Station (Fig. 193), tritt bei d ein und vollendet ſeinen Kreislauf in der Richtung 4, M', 3, g', $m'n'$ (Fig. 195), K, SS, y, — Pol. — Unter dem Einfluſſe von M' iſt daher a' von x' angezogen und b' liegt zwiſchen den Zähnen des Rades III. Das Uhrwerk iſt alſo arretirt.

Stellt der entfernte Telegraphiſt, die Scheibe K links drehend, den Buchſtaben A an die Marke pp, ſo verläßt $m'n'$ den Scheibenumfang und mn tritt mit ihm in Berührung; daher nimmt nun der Strom nicht mehr den Weg um M' des Indicators, ſondern um M, indem er in der Richtung + Pol, h, d 2, M, 1, g, mn (Fig. 195), K, SS, y, — Pol ſeinen Kreislauf vollendet. Es wird daher a von x angezogen, das Rad III wird unter der Einwirkung des Gewichtes G ſo lange frei, bis der Zeiger zz auf das nächſte Feld A gerückt iſt, wo dann der Haken b die Zähne des Rades III erreicht hat und daſſelbe ſo lange ſtill hält, bis durch abermaliges Drehen des Communicators K die Richtung des Stromes wieder abgeändert und dadurch ein neues Fortrücken des Rades III und des Zeigers z möglich gemacht wird.

Es iſt leicht einzuſehen, daß in der Wirklichkeit der Leitungsdraht $h\,h'$ durch Anwendung von Erdplatten unter Benutzung der Leitkraft der Erde ganz in Wegfall kommt; auch wird jetzt in der Praxis einer der Elektromagnete, z. B. M', im Indicator durch eine auf den Arm a' wirkende Spiralfeder erſetzt, wodurch der zweite Draht g' wegfällt und der Telegraph zu ſeiner Bewegung nur eine einzige Drahtleitung erfordert. Gleichwohl war derſelbe in dieſer Einrichtung noch weit von demjenigen Grade der Vollendung entfernt, welcher ein ſchnelles und ſicheres Arbeiten garantirt. So lange die Bewegung des Commutators oder des Speichenrades der menſchlichen Hand überlaſſen blieb, war der Gang des Indicators oder des Zeigers vielen Unregelmäßigkeiten unterworfen; bald drehte der Telegraphiſt das Rad zu ſchnell, ſo daß der Zeiger nicht folgen konnte und die Depeſche in Unordnung gerieth, oder zu langſam, ſo daß an Geſchwindigkeit verloren ging.

Die nächſten Verbeſſerungen waren daher darauf gerichtet, den zeichengebenden Theil des Apparates der menſchlichen Hand zu entziehen und die Bewegung deſſelben einem Uhrwerke zu übertragen. So entſtanden die Zeigerapparate mit Communicator-Laufwerk (der Indicator konnte dabei ebenfalls ein Laufwerk haben oder auch nicht), unter denen der von Dreſcher erfundene und in ſeinem Schriftchen »die elektriſche Telegraphie,« Kaſſel 1848. (Schellen's Tel. S. 143 f. f.) beſchriebene, eine praktiſche Anwendung gefunden hat. Das Princip deſſelben beſteht darin, daß ein Uhrwerk eine Scheibe, deren Rand abwechſelnd Einſchnitte und Hervorragungen hat, in regelmäßiger Bewegung rundgedreht, dadurch den Strom in regelmäßiger Folge herſtellt und unterbricht, alſo im Indicator den Anker eines Elektromagneten bald zum Anziehen bald zum Abfallen bringt, und ſo vermittelſt einer Ankerhemmung (wie in Fig. 192) oder eines Stiftenrades und einer Gabel den Buchſtabenzeiger vor der Signalſcheibe ruckweiſe rundtreibt. Die bewegte Scheibe kann durch Eindrücken von Knöpfen oder Taſten ganz nach der Willkür des arbeitenden Telegraphiſten in Stillſtand geſetzt, und dadurch gleichzeitig der Zeiger vor jedem beliebigen Buchſtaben angehalten werden.

In dem gegenwärtig auf Eiſenbahnen und auf kleineren Staatslinien in Preußen vielfach angewandten und ſehr brauchbaren Zeigerapparate von Dr. Kramer (ausführlich in Schellen's Telegraph u. ſ. w. S. 185.) iſt endlich die Communicatorſcheibe ganz weggelaſſen und der ganze Mechanismus iſt unter Beibehaltung eines Uhrwerkes auf eine große Einfachheit reducirt. Sein raſcher und ſicherer Gang, ſeine leichte Handhabung und die Einfachheit ſeines Mechanismus, machen ihn beſonders für Eiſenbahnlinien ſehr brauchbar.

219 **Der Zeigerapparat von Siemens und Halske.** Die ſinnreichſten und zugleich praktiſch brauchbarſten Zeigerapparate ſind gegenwärtig ohne Zweifel die von dem preuß. Ingenieur W. Siemens und dem Mechanikus M. J. Halske aus Berlin conſtruirten und auf allen größeren Linien des preußiſchen Staates ſo wie in Braunſchweig und in Belgien arbeitenden Vorrichtungen. Ohne Beihülfe eines Uhrwerkes durch die bloße Einwirkung eines galv. Stromes auf Elektromagnete ſetzt der Apparat einen Wecker und einen Zeiger in Bewegung, mit einer Sicherheit und einer Geſchwindigkeit, die von den anderen durch Uhrwerke getriebenen Vorrichtungen nicht übertroffen wird.

Sowohl der Zeigerapparat als auch die Läutevorrichtung beruht auf dem bekannten Neef'ſchen Princip der Selbſtunterbrechung des Stromes; das große Verdienſt der genannten Erfinder beſteht daher in der Art und Weiſe, wie ſie dieſes Princip zum ſichern Betriebe eines Telegraphen angewandt haben.

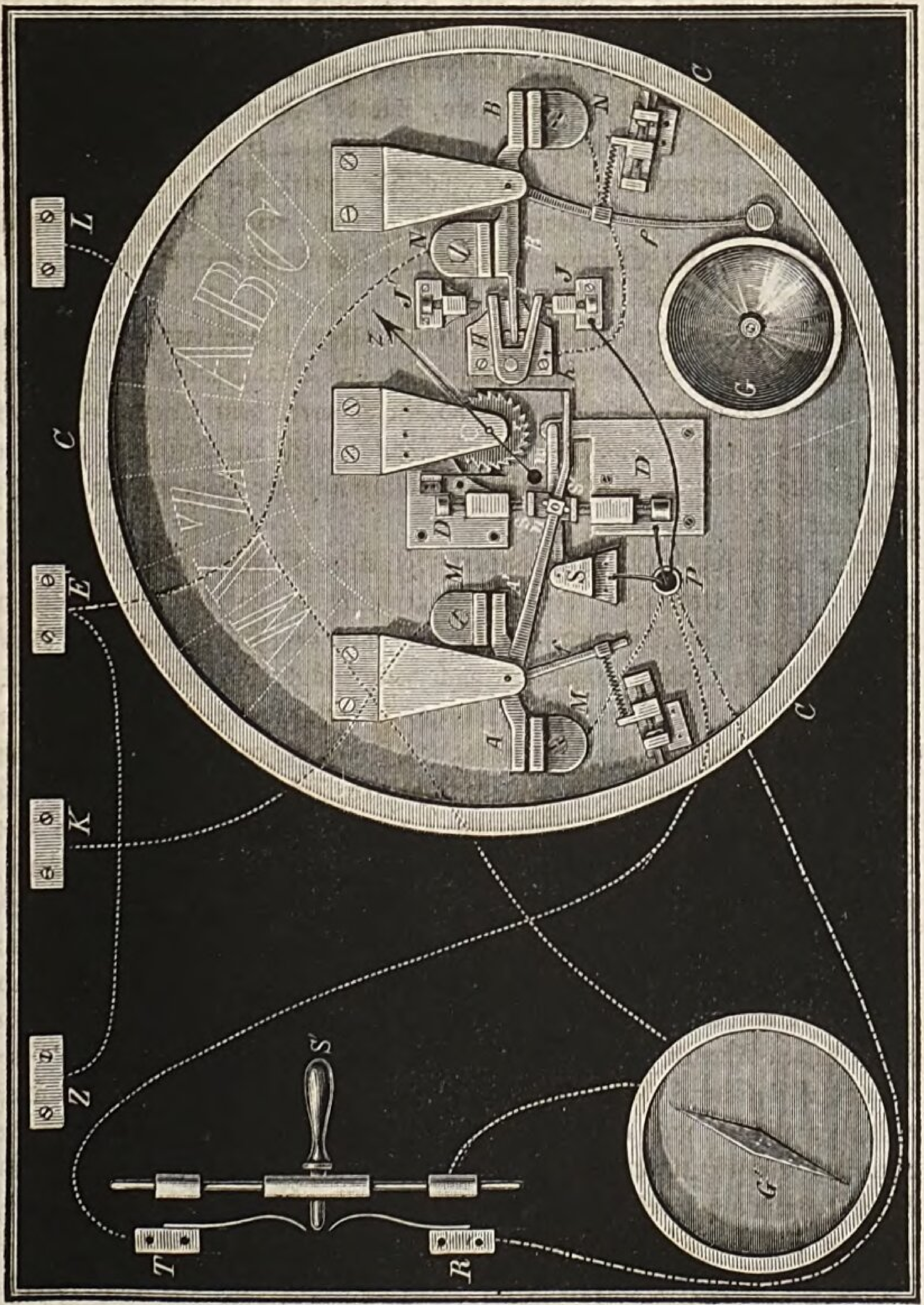
Der Mechanismus jener beiden Theile, Fig. 196, iſt innerhalb einer über der Deckplatte eines viereckigen Käſtchens hervortretenden runden Meſſingkapſel *CCC* eingeſchloſſen, die bloß die Axe des Zeigers hindurchläßt. An ihrem Rande ſtehen rings herum die kreisförmig geſtellten telegraphiſchen Zeichen (Buchſtaben und Ziffern), an denen der Zeiger *z* bei ſeiner Bewegung der Reihe nach vorbeiläuft, wie es aus der Fig. 199 erſichtlich iſt.

Die zum Betriebe erforderlichen zwei Elektromagnete befinden ſich nebſt den, in der Figur punktirt gezeichneten, Verbindungsdrähten unterhalb der Deckplatte in dem eigentlichen Raum des Kaſtens. Auf der Deckplatte ſieht man noch das Galvanometer *G'*, den Schieber *S'*, die Contactfedern *R* (Ruhe), *T* (Telegraphiren) und die Drahtklemmen *Z* (Zinkpol), *K* (Kupferpol), *E* (Erddraht), *L* (Leitungsdraht).

Der Weckerapparat iſt der einfachere Theil des Ganzen und beſteht aus den in der Figur rechts vor dem Haken *h* liegenden Theilen und der Glocke *G*.

NN ſind die beiden Pole eines Elektromagneten; ſeine Schenkel befinden ſich unterhalb des Deckels und ſtehen ſenkrecht gegen denſelben; ſeine Pole gehen durch den Deckel hindurch und ſind mit Kappen oder Schuhen beſetzt, die ſich dem hervortretenden Eiſenkern an der einen Seite rund anſchließen, an der andern Seite aber in ebene Platten auslaufen, mit welchen ſie auf die ebenfalls plattenförmig geſtellten und durch ein ∽förmig gebogenes Eiſenſtück verbundenen zwei Anker *B* anziehend einwirken. Die Drehungsaxe dieſes Ankers trägt zwei Führungsarme *i* und *f*, welche beide zugleich mit dem Anker hin- und hergehen. Der letztere *f* ſchlägt bei ſeiner Bewegung mit ſeinem klöppelförmig geſtalteten Ende gegen die Glocke *G*, der erſtere *i* aber liegt zwiſchen den zwei Schenkeln

Fig. 196.

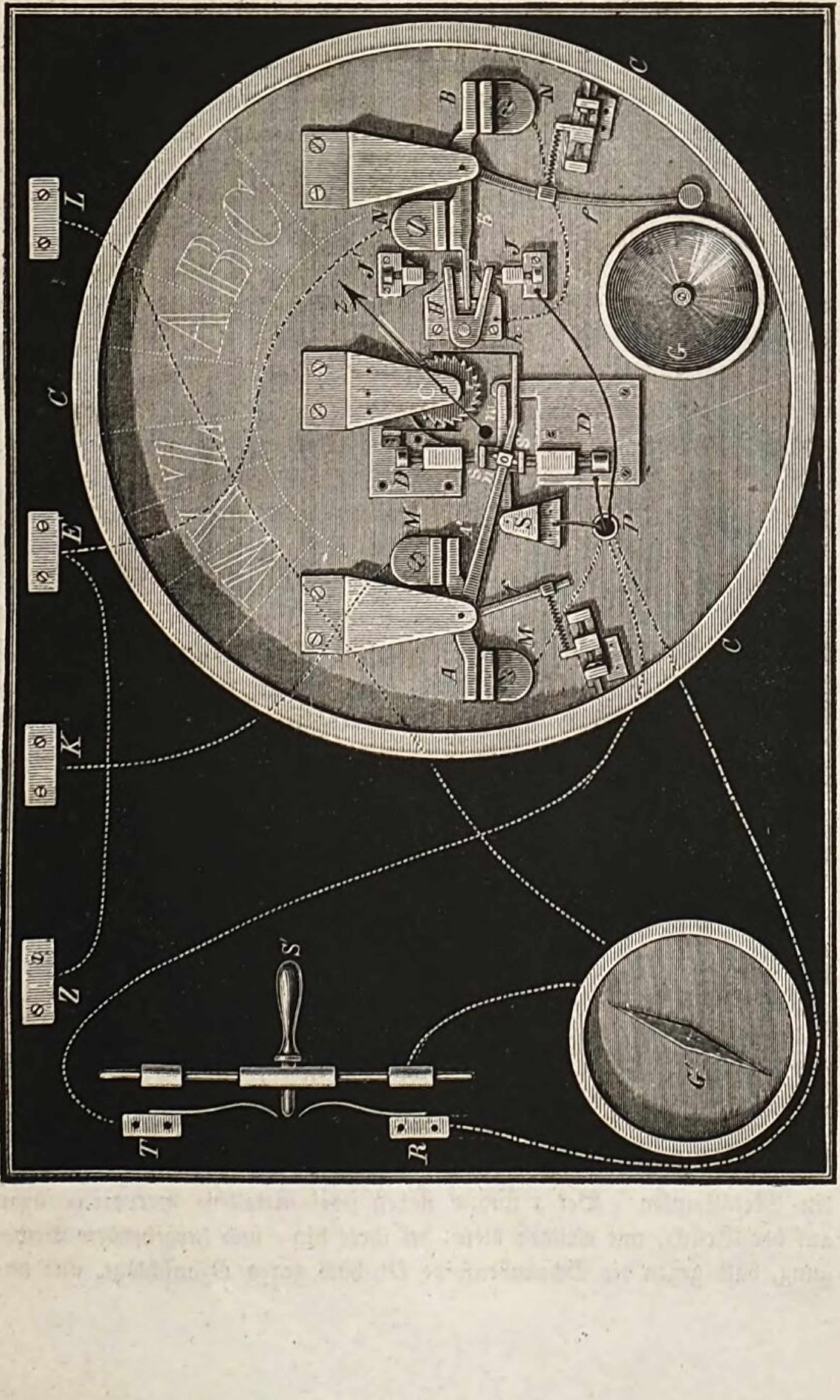


einer Meſſinggabel, welche ſich um einen auf dem Fuße *H* ſtehenden Metallzapfen mit einiger Reibung hin- und herbewegen läßt. Zwei metallene Schraubenſpitzen *I*, *I'* ſchränken dieſe Bewegung in eine Gränze ein, die der Bewegungsgröße des Ankers genau entſpricht, und daher durch Verſtellen der Schrauben vor dem Gebrauche des Apparats genau regulirt werden muß. Im Ruhezuſtande, wo, wie die Figur zeigt, die Anker *B* von *NN* nicht angezogen ſind, muß die Gabel eine ſolche Stellung haben, daß der untere oder vordere Schenkel durch den Arm *i* gegen die Schraubenſpitze *I* leicht angedrückt wird. Der Arm *i* trägt an ſeinem Ende beiderſeits eine Elfenbeinſpitze, damit ſein Metallkörper mit der Gabel nicht in Berührung komme.

Die Enden des den Elektromagnet bildenden Umwindungsdrahtes gehen unterhalb der Deckplatte einerſeits an die Drahtklemme *E*, andererſeits nach dem Fußgeſtelle *H*, während ein anderer, dem Wecker ebenfalls angehöriger Draht, von dem Geſtelle *I* aus durch die Oeffnung *P* unter die Deckplatte tritt und hier an der Klemme und der Contactfeder *R* feſtgeſchraubt iſt.

Man denke ſich jetzt den poſitiven Pol einer Batterie mit *Z*, den negativen mit *R* verbunden. In dem Augenblick, wo die Batterie geſchloſſen wird, geht dann ein Strom von *Z* über *E* nach dem Elektromagneten *NN* und von deſſen Umwindungsdraht nach dem Ständer *H* und deſſen Gabel. Da dieſe gegen die Schraube *I* anliegt, ſo gelangt der Strom durch die Gabel über *I* nach *R* und dem negativen Pole. Der Anker *B* wird alſo angezogen und der Arm *i* verläßt den vordern Schenkel der Gabel. Dieſe ſelbſt aber bleibt gegen die Schraube *I* anliegend und unterhält alſo den Strom, während der anziehenden Wirkung von *NN* gegen *B* ſo lange, bis *B* in die unmittelbarſte Nähe von *NN* gekommen iſt. In dieſem Augenblick aber hat der Arm *i* den hintern Schenkel der Gabel erreicht; er ſchlägt gegen ihn an und dreht die ganze Gabel nach *I'* hin; dadurch verläßt der vordere Schenkel die Schraube *I*, und es entſteht nun zwiſchen dieſen beiden Theilen eine Unterbrechung, wie ſie früher zwiſchen der Gabel und *I'* beſtand. Eben dadurch iſt für den Strom die Brücke, über welche er von *H* nach *I* gelangen konnte, aufgehoben, er kann nicht mehr circuliren und iſt unterbrochen. Der Elektromagnet *NN* läßt ſeinen Anker *B* fahren und dieſer wird nebſt dem Arm *i* von einer Spiralfeder, die hier auf den Klöppel *f* einwirkt, vollends in die vorige Lage zurückgezogen. In dem Augenblick aber, wo der Anker in dieſe alte Lage zurückgekehrt iſt, hat auch der Arm *i* durch Anſchlagen an den vordern Schenkel die Gabel wieder nach *I* verlegt und dadurch die Brücke für die Circulation des Stromes wieder hergeſtellt. — *NN* wirkt nun abermals anziehend auf *B* und es wiederholt ſich auf dieſe Weiſe dieſe eben beſchrie-

Fig. 197.



bene Bewegung ſämmtlicher Theile ſo lange, als die Batteriepole mit *R* und *Z* in Verbindung bleiben.

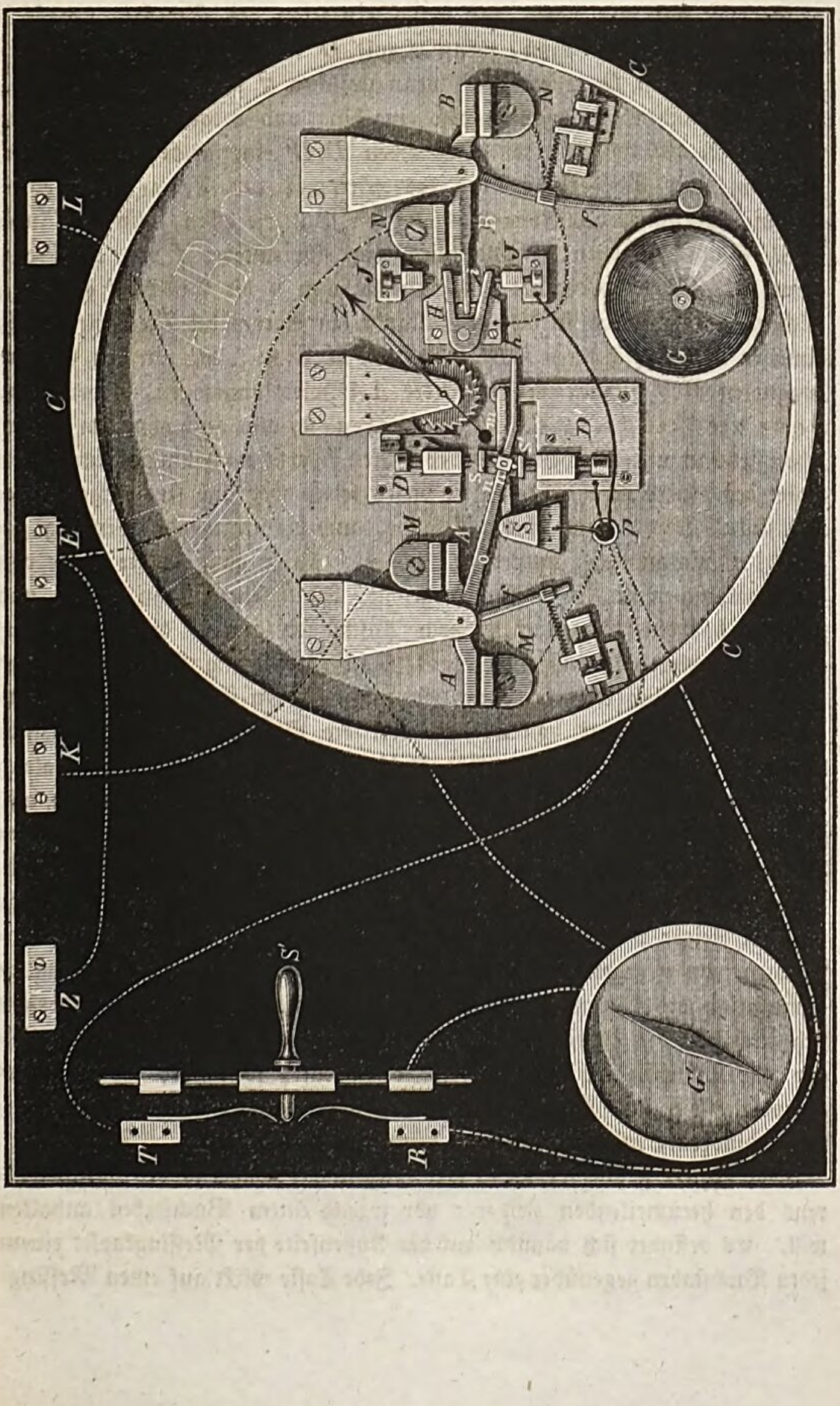
Bei der hin- und hergehenden Bewegung des Arms *f* ſchlägt ſein Klöppel fortwährend gegen die Glocke *G*; die Unterbrechung und Wiederherſtellung des Stromes erfolgt hierbei durch den Apparat ſelbſt, woher ſein Name Wecker mit Selbſtunterbrechung.

Der Mechanismus des Zeigerapparates umfaßt die links von dem Haken *h* liegenden Theile: *MM* ſind wieder die Pole eines ganz in der oben beſchriebenen Weiſe conſtruirten und aufgeſtellten Elektromagneten; *AA'* ſein plattenförmig geſtalteter Anker, deſſen Drehungsaxe auch hier einen Arm *oh* trägt, an deſſen Ende *h* ein Haken befeſtigt iſt. Dieſer greift in die Zähne eines kleinen Stahlrädchens *r* ein, welches nur nach einer einzigen Richtung drehbar iſt, indem ein an der linken Seite des Rädchens auf dem Fuße *D* befeſtigter Sperrhaken die Bewegung nach der entgegengeſetzten Richtung verhindert. So oft der Arm *oh* ſich nach hinten (in der Richtung von *D'* nach *D*) bewegt, holt ſich *h* einen Zahn, und *r* ſteht ſtille, bei der Bewegung des Arms *oh* nach vorne, zieht der Haken *h* den ergriffenen Zahn mit ſich fort. Durch eine anhaltende Bewegung von *oh* wird daher das Rädchen *r* nach und nach ganz herumgedreht; der Zeiger *z*, der außerhalb der Meſſingkapſel auf der verlängerten Axe dieſes Rädchens aufgeſchraubt iſt, theilt dabei die Bewegung deſſelben und gelangt ſo ſprungweiſe von einem Buchſtaben zum andern in derſelben Richtung, wie ſich die Zeiger einer Uhr bewegen. Außerdem iſt noch ein Mechanismus vorhanden, wodurch verhütet wird, daß der Haken *h* bei jedem Gange nie mehr als einen einzigen Zahn faſſen, und das Rädchen *r* nicht weiter, als um einen einzigen Zahn herumziehen kann.

Von den zwei Enden des den Elektromagneten bildenden, unterhalb der Deckplatte liegenden Umwindungsdrahtes iſt das eine bei *K* feſtgeſchraubt, das andere tritt durch die Oeffnung *P* in die Meſſingkapſel hinein und iſt auf dem Meſſingſtänder *S* feſtgeſchraubt; ein dritter Draht geht von dem Meſſinggeſtelle *D'* und durch eben dieſelbe Oeffnung *P* unterhalb der Deckplatte hinweg zu der Drahtklemme *T* und deren Contactfeder.

Die hin- und hergehende Bewegung des Arms *o* wird auch hier durch Selbſtunterbrechung des Stromes auf analoge Weiſe hervorgebracht, wie bei dem Wecker. Zu dem Ende trägt die Meſſingplatte *S* einen nahe unter dem Arm *o* hinlaufenden Meſſingſtreifen *m*, auf welchem ungefähr in der Mitte eine kleine metallene Brücke *ss'* befeſtigt iſt. Der Streifen *m* nebſt ſeiner Brücke dreht ſich um einen am Ende der Platte *S* befeſtigten Metallzapfen Bei *s* und *s'* ſtehen zwei metallene Hervorragungen auf der Brücke, mit welchen dieſe, bei ihrer hin- und hergehenden Bewegung, bald gegen die Schraubenſpitze *D'*, bald gegen *D* anſchlägt, und da-

Fig. 198.



durch ſich nur innerhalb einer kleinen, der Bewegungsgröße des Ankers AA' genau entſprechenden und durch Verſuche vor dem Gebrauche des Apparates zu regulirenden Gränze bewegen kann.

Es zeigt ſich nun bald, daß eine Circulation des Stromes um MM nur dann ſtattfinden kann, wenn s' mit D' in Berührung ſteht, nicht aber, wenn s an D anliegt oder wenn zwiſchen s' und D' eine Unterbrechung vorhanden iſt, wonach alſo eine hin- und hergehende Bewegung der Brücke ss' zwiſchen den Schrauben D, D' eine abwechſelnde Unterbrechung und Wiederherſtellung des Stromes zur Folge haben muß.

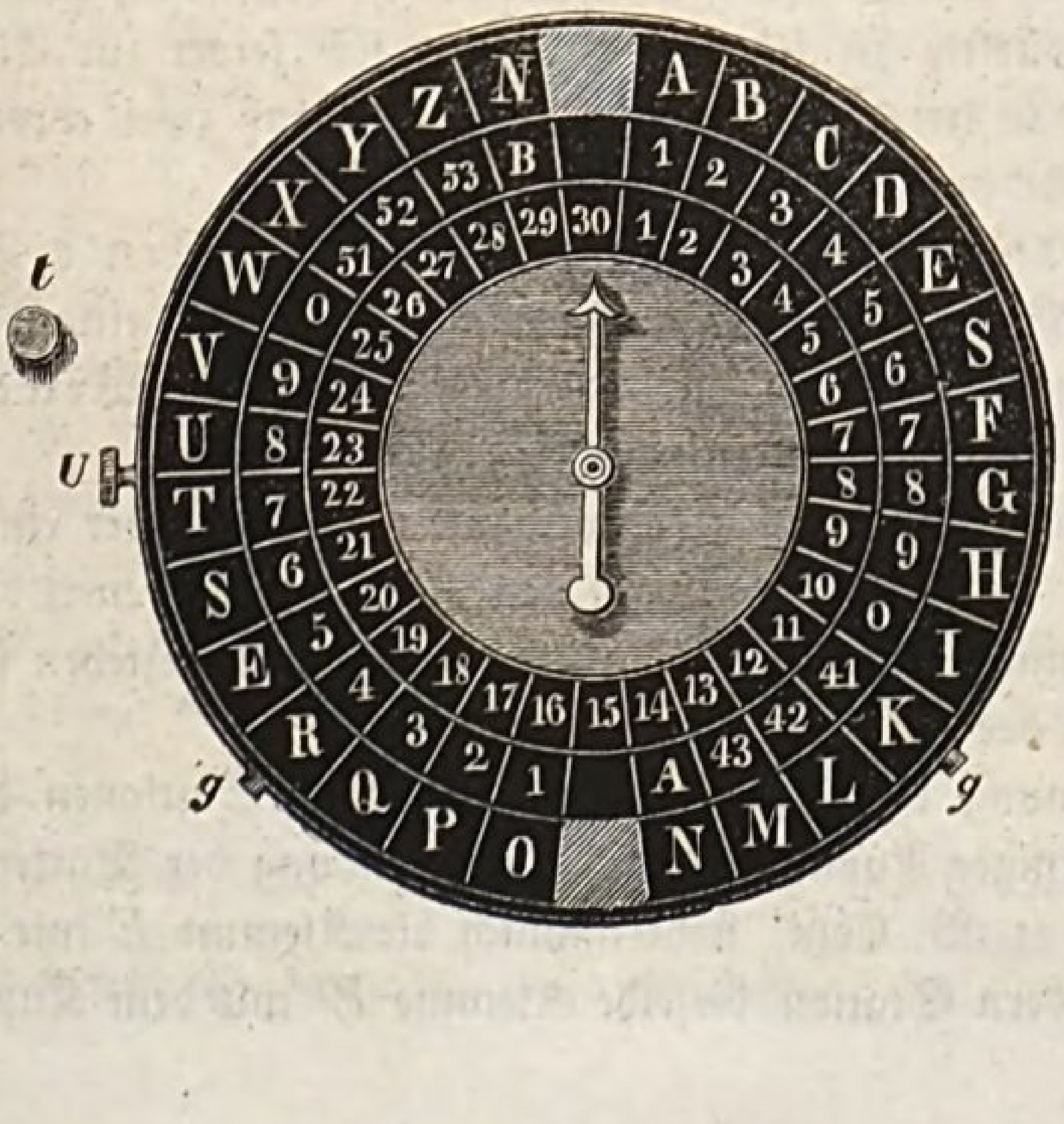
Im Ruheſtande des Apparates, wo die Batterie offen, alſo der Anker AA' nicht angezogen iſt und durch eine Spiralfeder f von MM entfernt gehalten wird, drückt das Querſtäbchen n die Brücke s' gegen die Schraube D'. Wird in dieſem Zuſtande ein Strom bei T eingeleitet, ſo kann er in der Richtung T, D', s', m, S, MM, K u. ſ. w. um den Elektromagneten MM circuliren; der Anker AA' wird angezogen, n verläßt s' ohne die Brücke ss' ſelbſt zu verlegen, alſo auch ohne den Strom ſchon jetzt zu unterbrechen, und der Haken h geht nach hinten, um einen Zahn des Rädchens r zu erfaſſen; dieſes ſelbſt aber und ſein Zeiger z ſtehen ſtille. Der Strom dauert ſo lange, und die anziehende Wirkung gegen AA' nimmt dabei immer zu, bis der Anker ganz in die Nähe von MM gekommen iſt; in dieſem Augenblick hat h ſeinen Zahn gefaßt, und zugleich hat das Querſtück n durch Anſchlagen gegen s die Brücke ss' nach D verlegt, ſo daß nun s mit D in Berührung ſteht, zwiſchen s' aber und D' eine Unterbrechung vorhanden iſt, in Folge deren eine Circulation des Stromes von D' aus über die Brücke ss' nach S zu nicht mehr ſtattfinden kann. Nun läßt MM ſeinen Anker fahren, der ſogleich nebſt ſeinem Arm oh in die Ruhelage zurückgezogen wird. Indem alſo h den ergriffenen Zahn mit ſich nimmt und dadurch den Zeiger z auf den nächſtfolgenden Buchſtaben vorrückt, kommt n wieder mit s' in Berührung, und die Brücke ss' wird in dem Momente, wo h ſeine Ruhelage oder der Zeiger z die Mitte eines Zeichenfeldes erreicht hat, durch Anſchlagen von n gegen s' wieder nach D' verlegt, womit eine abermalige Circulation des Stromes um MM möglich gemacht wird. So wiederholt ſich auch hier die Bewegung der einzelnen Theile, in Folge deren der Zeiger z ſprungweiſe die Zeichenſcheibe durchläuft, ſo lange, als die Batteriepole mit K und T verbunden bleiben oder irgend ein anderes mechaniſches Hinderniß in die Bewegung hemmend eingreift.

Das Letztere geſchieht, wenn der Telegraphiſt während des Telegraphirens den herumeilenden Zeiger z vor irgend einem Buchſtaben anhalten will. Es befindet ſich nämlich auf der Außenſeite der Meſſingkapſel einem jeden Buchſtaben gegenüber eine Taſte. Jede Taſte wirkt auf einen Meſſing-

ſtift, der ſich beim Niederdrücken der Taſte in das Innere der Kapſel hineinſchiebt, beim nachlaſſenden Druck aber nebſt der Taſte durch Federkraft wieder in die Höhe geht. Die Axe des Stahlrädchens r trägt unmittelbar unter der Fläche des Rädchens einen Arm, der ſo geſtellt iſt, daß er dem obern Zeiger z genau parallel iſt und daher auch bei der Bewegung des Rädchens dem Zeiger z ſtets parallel bleibt. Dieſer Arm läuft, wenn keine Taſte niedergedrückt iſt, gerade unterhalb der einſchiebbaren Stifte hindurch und hemmt daher die Bewegung des Rädchens nicht. Wird aber, während der Apparat in Thätigkeit iſt und der Zeiger rund läuft, bei irgend einem Buchſtaben, z. B. C, die Taſte niedergedrückt, und dadurch der entſprechende Stift eingeſchoben, ſo dauert die Bewegung des Rädchens r und des Zeigers gerade ſo lange an, bis der Arm unterhalb z dieſen Stift erreicht hat und angehalten wird; damit ſteht dann ſowohl z vor dem Zeichen C, als auch r, $h\,o$, überhaupt der ganze Apparat ſo lange ſtille, bis die Taſte C wieder freigelaſſen wird und der eingeſchobene Stift in die Höhe geht. Die Stellung der Stifte und des Arretirungsarmes des Rädchens r iſt jedoch allemal ſo anzuordnen, daß, wenn der letztere von einem der erſteren angehalten wird, der Haken h noch nicht den ganzen Weg bis zu ſeiner Ruhelage zurückgelegt hat, demnach das Querſtück n des Armes o ſich in der Mitte zwiſchen s und s' befindet, und jedenfalls die Seite s' noch nicht erreicht hat. Wird alſo der Zeiger z von irgend einer Taſte angehalten, ſo ſteht s' mit D' nicht in Berührung und der Strom iſt unterbrochen. Der Grund hierfür wird aus dem Folgenden klar werden.

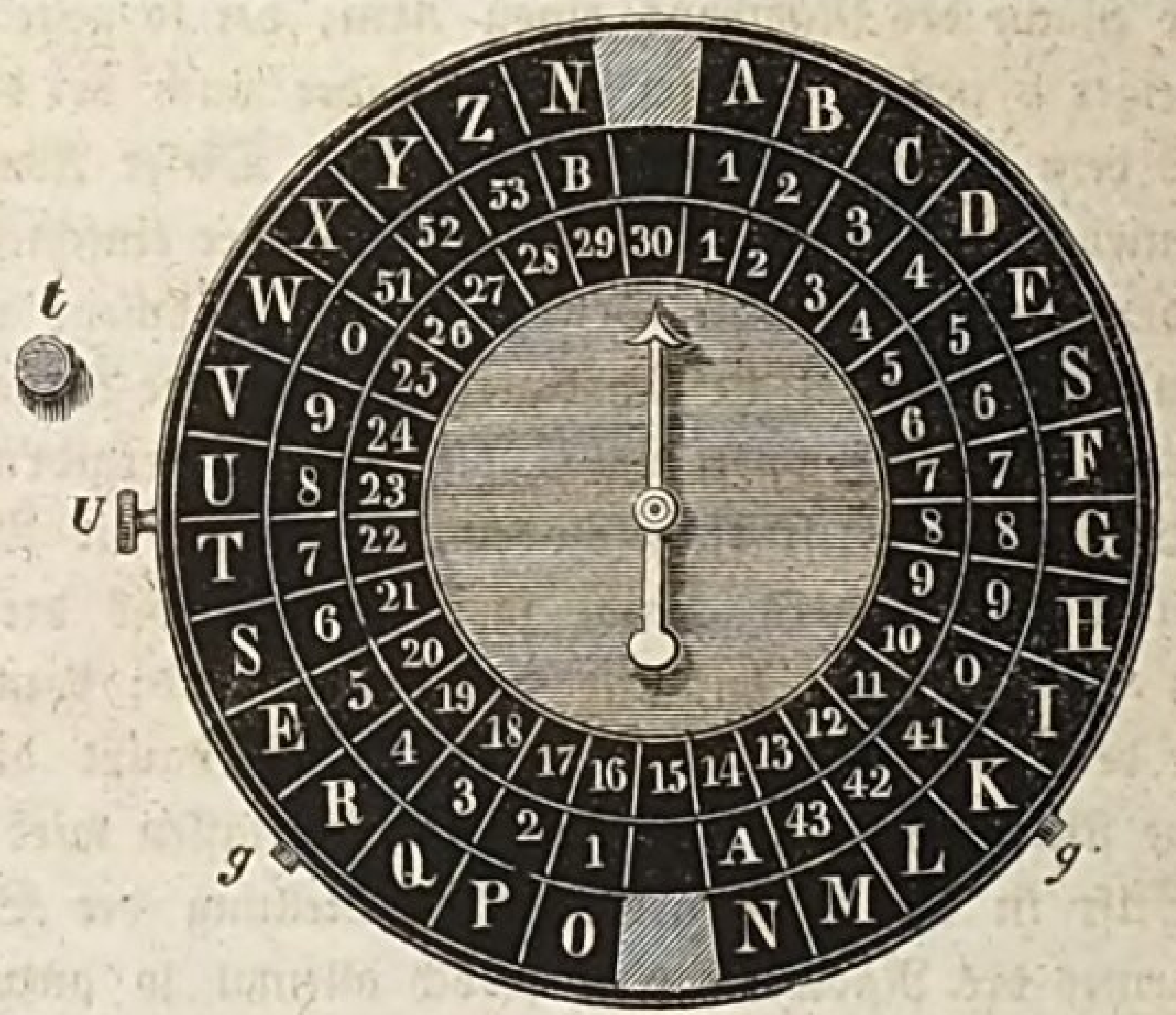
Die Fig. 199 zeigt die Anordnung des Zifferblattes; die Buchſtaben E,

Fig. 199.



S, N kommen als die in der deutſchen Sprache am häufigſten gebrauchten Zeichen zweimal vor; die Felder 41, 42, 43 — 51, 52, 53 und der

Fig. 200.



innerſte Ring beziehen ſich auf die geheime Chiffre-Correſpondenz; *g* und *g′* ſind zwei aus der Meſſingkapſel hervortretende Dornen der auf die Spiralen *f, f′* (Fig. 198) einwirkenden Schrauben, zu denen die Telegraphiſten Schlüſſel haben, um durch Anziehen oder Nachlaſſen der Schrauben die Spannkraft der Federn nach Maßgabe der Stromſtärke zu reguliren. *U* iſt ein Knopf, der an einem auf der linken Platte *A* des Ankers *AA′* einwirkenden Winkelhebel befeſtigt iſt und vermittelſt deſſen der Telegraphiſt bei unterbrochenem Strome den Anker *AA′*, alſo auch den Arm *o* und den Zeiger *z* in Bewegung ſetzen kann, ohne eines Stromes dabei bedürftig zu ſein. Er bedient ſich ſeiner zur Einſtellung des Zeigers auf das leere Feld, wenn die Zeiger auf zwei correſpondirenden Stationen nicht in Uebereinſtimmung ſein ſollten.

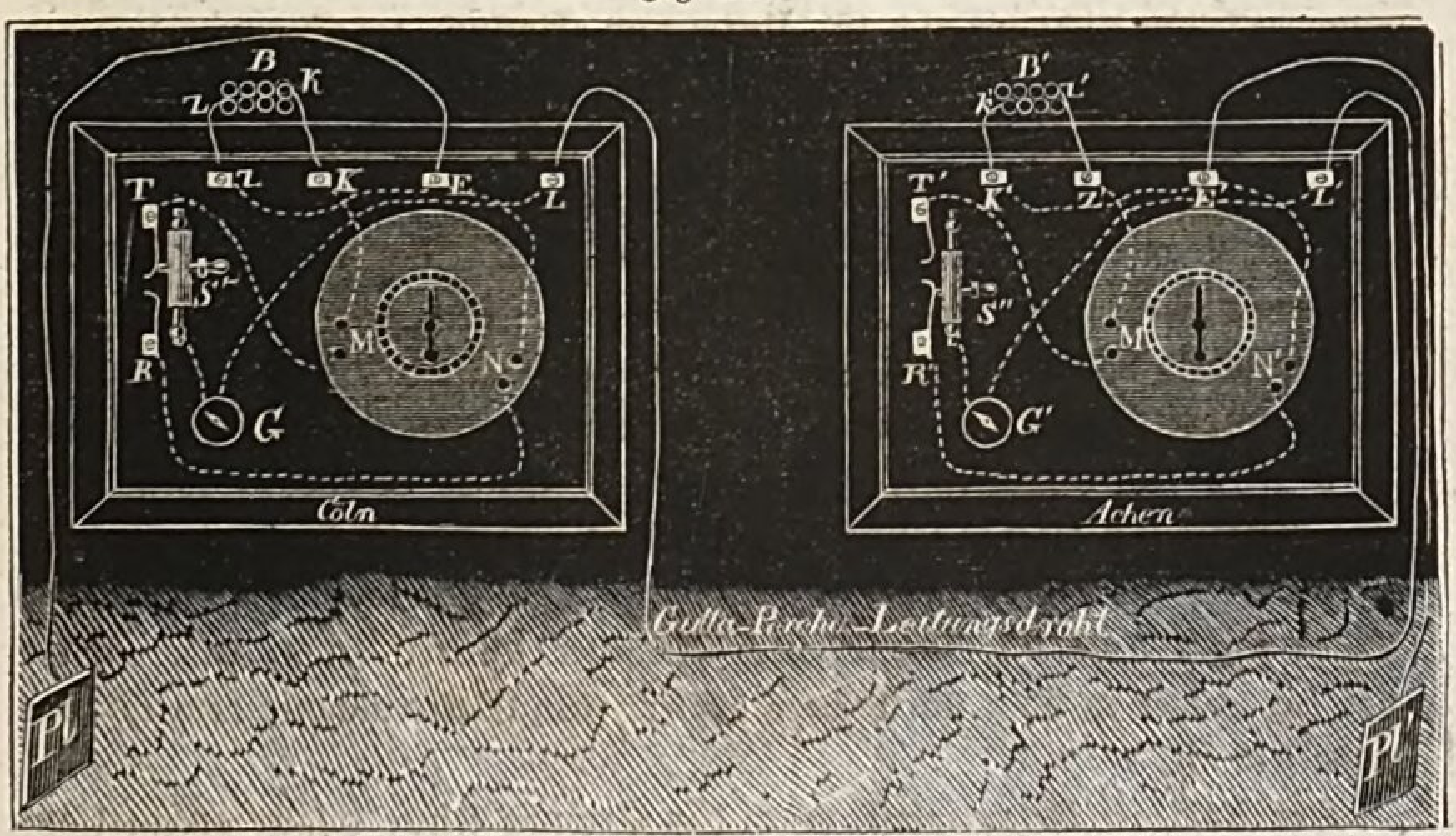
Ueber die Anwendung des Knopfes *t* ſ. Schellen's Tel. S. 178. Es bleibt noch übrig, den Zuſammenhang zweier mit einander correſpondirender Apparate, ſo wie die Art und Weiſe des Weckens und des Telegraphirens näher anzugeben.

Die Fig. 201. ſtellt zwei Apparate dar, von denen der eine in Cöln, der andere in Aachen gedacht werden mag, und in denen die Zeichnung des Mechanismus weggelaſſen iſt; die Buchſtaben beziehen ſich durchweg auf die Theile der Fig. 198.

Die Anordnung der Apparate iſt auf beiden Stationen durchaus dieſelbe, mit alleiniger Ausnahme der Polverbindung der Batterie. Auf der einen Station (z. B. Cöln) ſteht nämlich die Klemme *E* mit dem Zinkpol *Z*, auf der andern Station dieſelbe Klemme *E′* mit dem Kupferpol *K′* in

Verbindung. Bei E, E' ſind die zu den Erdplatten $Pl.$, Pl'. führenden Erddrähte, bei L, L' die Enden des Leitungsdrahtes eingeſchraubt;

Fig. 201.



Z, Z' ſind die Klemmen für die Zinkpole; K, K' für die Kupferpole der Batterie. Der Schieber S' (vergl. Fig. 198) läßt ſich an einer Meſſingſtange entlang vorbeiſchieben, ſo daß ſeine metallene Spitze bald mit der Contactfeder T (beim Telegräphiren), bald mit R (in der Ruhe) in Verbindung ſteht. Für die Stellung des Schiebers zwiſchen den Federn T und R, wie in Fig. 198, iſt kein Strom möglich. Die Drahtenden des Galvanometers G' ſind einerſeits mit dieſer meſſingenen Schieberſtange, andererſeits mit der Drahtklemme L verbunden*). In der Ruhelage ſtehen die beiden Schieber S', S'' auf beiden Stationen auf R. Bei dieſer Stellung ſind beide Batterien B, B' offen, denn in Aachen findet vom Pole z' aus über Z', M', T' hinaus keine Weiterleitung ſtatt, und eben ſo trifft man in Cöln vom Pole k aus über K, M, T (im Falle S' auf R ſteht), offene Kette. In dieſem Zuſtande ſtehen die Zeiger des Zifferblattes (Figur 199) auf dem leeren Felde.

Das Telegraphiren geſchieht nun auf folgende Weiſe:

Geſetzt, Cöln will eine Depeſche abgeben: Cöln rückt zuerſt S' auf T und bringt dadurch die Cölner Batterie B in die Leitung; ihr

*) In der Wirklichkeit befindet ſich zwiſchen G' und L noch eine Vorrichtung, die nur beim Directſprechen, wovon weiter unten, in Anwendung kommt; für die gewöhnliche Correſpondenz iſt ſie überflüſſig.

Strom nimmt die Richtung vom *k* Pol aus über *K, M, T, S', G, L,* Leitung *L', G', S'', R', N', E', Pl'.*, Erde, *Pl., E, Z, z* Pol. Ein näheres Verfolgen zeigt leicht, daß ein anderer Weg des Stromes oder eine Abzweigung deſſelben nicht möglich iſt. Unter dem Einfluſſe des Stromes befinden ſich nun:

a) der Wecker *N'* der Aachener Station, und

b) der Zeigermagnet *M* der Cölner Station.

Nun iſt aber mit Rückſicht hierauf die Feder (Fig. 198) des Weckermagneten viel ſchwächer angeſpannt als die Feder des Zeigermagneten, ſo daß durch die Stromkraft der einen Batterie *B* der Weckermagnet ſeine Feder früher überwinden kann, als der Zeigermagnet die ſeinige. Indem aber *NN* ſeinen Anker *B* früher anzieht, als *MM* den ſeinigen (*AA*) und ſofort durch die Anziehung von *B* und die Bewegung von *i* der Strom ſich unterbricht, ſo kann der Zeigermagnet *MM* überhaupt nicht zum Anziehen ſeines Ankers kommen. Der Aachener Wecker ertönt daher, ohne daß der Zeiger in Cöln ſich bewegt, obgleich ſein Elektromagnet dem Strome ausgeſetzt iſt.

Der Aachener Telegraphiſt, durch das Ertönen ſeiner Glocke aufmerkſam gemacht, ſtellt ſofort ſeinen Schieber *S''* auf *T'*, und nun befinden ſich die Batterien *B, B'*, ſo wie die Zeigermagnete *M, M'* beider Stationen in der Leitung. Die Richtung des Stromes iſt dabei, wenn man von *B* ausgeht, folgende:

k Pol *K, M, T, S', G, L,* Leitung, *L', G', S'', T', M', Z', z' B' k', K', E', Pl'.*, Erde, *Pl., E, Z, z* Pol.

Demnach befinden ſich die Zeigerapparate *M, M'* beider Stationen unter dem Einfluſſe eines mit den beiden Batterien *B, B'* erzeugten Stromes, der nun hinreichend ſtark iſt, die Anker *A, A'* (Fig. 198), deren Federn gleich ſtark angeſpannt ſind, zum Anklappen und die Zeiger auf der Zeichenſcheibe zum Rundlauf zu bringen.

Sobald eine der beiden Stationen (Cöln) eine Taſte niederdrückt, ſo hält der Zeiger auf dieſer Station an dem dadurch eingeſchobenen Stifte an, und der Strom iſt zugleich, wie in dem Obigen erklärt wurde, unterbrochen. Da alſo kein Strom mehr vorhanden iſt, muß auch der Zeiger der Aachener Station einen Moment nach dem Stillſtande des Cölner Zeigers ſtille ſtehen.

Will die empfangende Station (Aachen) die arbeitende (Cöln) unterbrechen, ſo braucht ſie nur eine ihrer Taſten, in der Regel die weiße unten oder oben (Fig. 199) niederzudrücken. Durch das Stillhalten der Zeiger erkennt dann die arbeitende Station ſofort, daß eine Zwiſchenfrage gemacht werden ſoll.

Läßt nun die empfangende Station die niedergedrückte Taſte wieder frei,

ſo ſetzen beide Zeiger ihren Lauf wieder fort und es verwandelt ſich die empfangende Station in eine arbeitende. — Nach Beendigung einer Mittheilung giebt die arbeitende Station das Zeichen *OEO* (Ende) und hierauf *ORO* (Ruheſtellung), worauf jede Station ihren Schieber S', S'' wieder auf R, R' herabrückt und dadurch den Apparat in den Ruheſtand zurückverſetzt.

Eine größere Telegraphenlinie, z. B. von Berlin nach Verviers, auf der belgiſchen Gränze, zerfällt in der Regel in mehrere Sectionen, die für ſich wieder beſondere kleinere Linien (z. B. Hamm — Düſſeldorf, Düſſeldorf — Deutz u. ſ. w.) bilden, ſo daß die ganze Linie aus zwei Endſtationen und mehreren Zwiſchen- oder Durchgangsſtationen beſteht. Für die genannte Linie ſind Potsdam, Magdeburg, Oſchersleben, Braunſchweig, Hannover, Minden, Hamm, Düſſeldorf, Deutz, Cöln, Aachen, Zwiſchenſtationen, während die Endſtationen Berlin und Verviers ſind.

Jede Zwiſchenſtation hat demnach zwei Zeigerapparate, von denen der eine nur mit der vorhergehenden, der andere nur mit der nachfolgenden Station correſpondiren kann; nur die Endſtationen enthalten einen einzigen Apparat. Für viele Fälle iſt es indeß wünſchenswerth, daß einige oder beliebig viele Zwiſchenſtationen aus der Leitung können ausgeſchaltet werden und jede Station nicht bloß mit der benachbarten, ſondern mit jeder anderen Station derſelben Linie direct correſpondiren kann, insbeſondere daß die Endſtationen in eine directe Verbindung treten können, ohne daß die Mittheilungen den Weg durch die Apparate der Zwiſchenſtationen hindurch zu nehmen nöthig haben. — Zu dieſem Behufe befinden ſich auf allen Zwiſchenſtationen ſogenannte Ausſchalter in Verbindung mit einem Wecker, wodurch es nicht nur ermöglicht wird, daß jede Station unter Umgehung aller Zwiſchenſtationen mit jeder anderen Station direct verkehren kann, ſondern auch, daß nach Beendigung der directen Correſpondenz den ausgeſchalteten Zwiſchenſtationen auf dem Wecker das Signal gegeben wird, daß ſie ſich wieder in die Leitung einzuſchalten haben. Dieſe Vorrichtungen des Ausſchalters und des Weckers und die ganze Art und Weiſe ihres Zuſammenhanges mit den Zeigerapparaten ſind nicht minder bewundernswürdig, als der Telegraph ſelbſt; ſie gewinnen aber ihr höchſtes Intereſſe durch ihre Verbindung mit dem Morſe'ſchen Drucktelegraphen, wodurch erreicht wird, daß unter Benutzung eines einzigen Leitungsdrahtes bald direct zwiſchen den Endſtationen mit dem Morſe'ſchen Drucktelegraphen, bald direct zwiſchen zwei beliebigen Stationen mit dem Siemens'ſchen Zeigerapparate, bald auch ſtationsweiſe zwiſchen zwei benachbarten Stationen mit dem letzten Apparate, je nachdem das Bedürfniß es erheiſcht, gearbeitet werden kann (Schellen's Telegr. S. 167 — 180, S. 197 — 202, S. 242 — 251).

Eine beſondere Erwähnung verdienen endlich noch die ſeit einigen Jahren 220

auf mehreren Eiſenbahnlinien Sachſens und Baierns eingeführten Zeigerapparate von E. Stöhrer. Was dieſe Telegraphen beſonders auszeichnet, iſt der Umſtand, daß zu ihrem Betriebe keine hydrogalvaniſche Batterie, ſondern eine magneto-elektriſche Rotationsmaſchine angewandt wird. Letztere erhält ihre Umdrehung durch ein Uhrwerk, und der regelmäßige Wechſel in der Richtung des erzeugten Inductionsſtromes iſt von einem regelmäßigen Polwechſel des auf den Zeiger wirkenden Elektromagneten begleitet. Zwiſchen dieſen Polen liegt ein permanenter Stahlmagnet, der durch den Polwechſel des Elektromagneten in eine hin- und hergehende Bewegung verſetzt wird und dieſe Bewegung auf ein ſtählernes Echappement überträgt, das ſeinerſeits wieder in ein Steigrad von Neuſilber eingreift. Auf der Welle des Steigrades, das 18 Zähne hat, ſitzt der Zeiger, der ſich demnach über die 36 Felder der Buchſtabenſcheibe bewegt.

Das Telegraphiren geſchieht hierbei nicht durch Niederdrücken von Taſten, ſondern durch Verſtellen eines Führungsarmes nach rechts oder links auf dem zu ſignaliſirenden Buchſtaben. Der Zeiger hält dann in ſeinem Laufe genau dieſem Buchſtaben gegenüber an.

Die Stöhrer'ſchen Apparate arbeiten mit einer befriedigenden Geſchwindigkeit und vollſtändigen Sicherheit; aber weil ihre Tragweite wegen der verhältnißmäßig geringen Intenſität des Inductionsſtromes nicht ſehr bedeutend iſt, ſo eignen ſie ſich bei der gegenwärtigen Conſtruction der magnetoelektriſchen Maſchinen nur für die in der Regel kürzeren Eiſenbahnlinien.

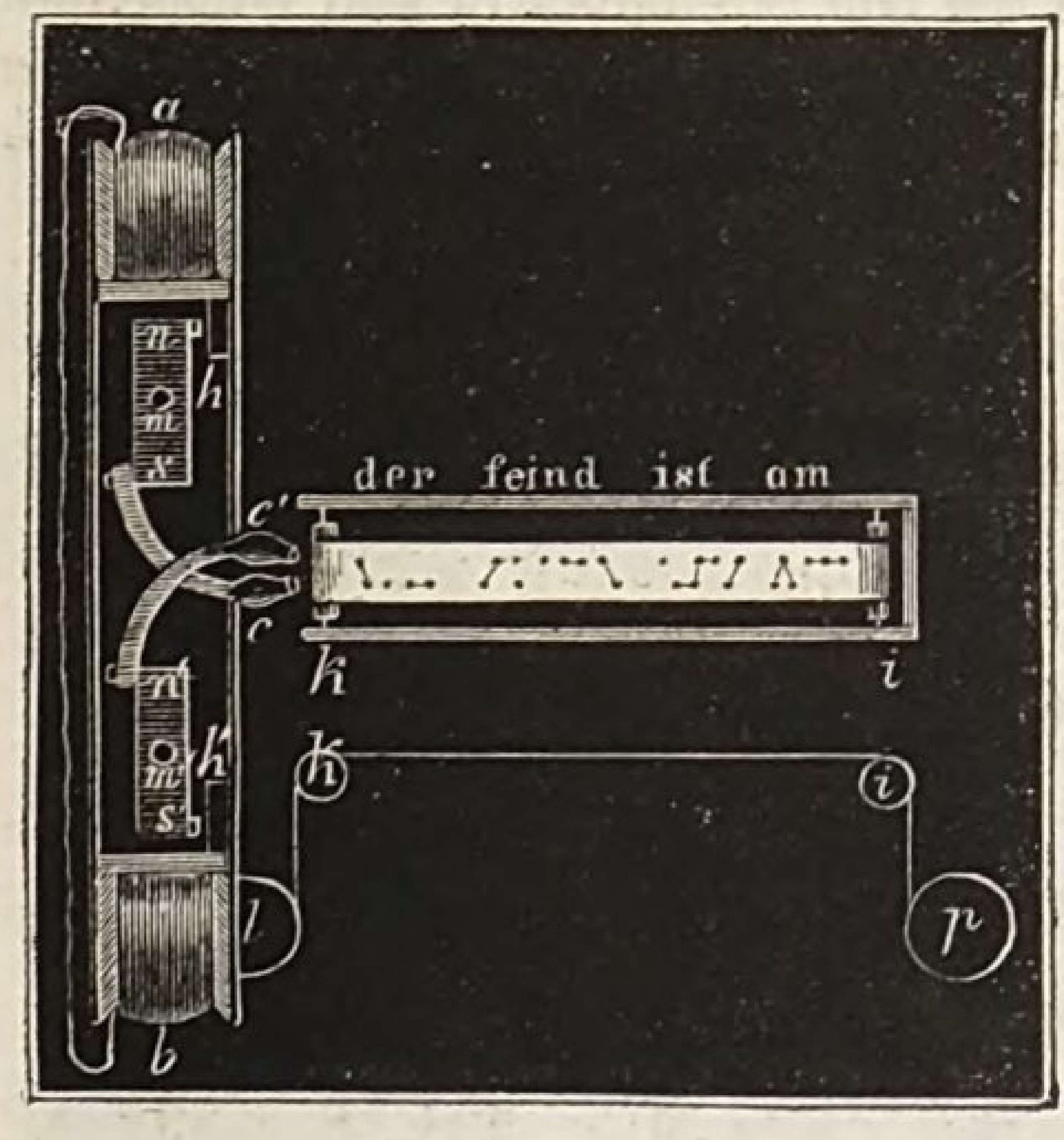
Die Drucktelegraphen.

221 Es wurde ſchon oben bemerkt, daß der erſte Drucktelegraph im Jahre 1837 von Steinheil conſtruirt worden iſt. Seit jener Zeit hat es an den mannichfaltigſten Verſuchen zur Ausbildung dieſes Zweiges der Telegraphie nicht gefehlt. Beſonders haben Bain, Wheatſtone, Vail, Morſe, und in der neueſten Zeit wiederholt Bain, ſo wie Brett, Stöhrer, Dr. Kramer, insbeſondere aber Siemens und Halske*) typotelegraphiſche Vorrichtungen in einer ſolchen Vollendung zu Stande gebracht, daß die damit angeſtellten Probearbeiten ganz befriedigende Reſultate gewährten. Gleichwohl haben dieſe Apparate, mit Ausnahme des Morſe'ſchen und der dieſen ganz verwandten Stöhrer'ſchen, in der Praxis noch keine Anwendung finden können, und eine detaillirte Beſchreibung wird daher in dem Folgenden auch nur den gegenwärtig, allerdings in dem größten Maßſtabe zur Anwendung kommenden Morſe'ſchen Vorrichtungen oder dem Amerikaniſchen Syſteme zu Theil werden.

*) Der Druckapparat von Siemens iſt ſeiner größten Vollkommenheit nahe; er druckt die Depeſchen in ſehr ſcharfem Typendruck mit gewöhnlichen Lettern.

Der weſentlichſte Theil von Steinheil's Druckapparat iſt in Fi- 222
gur 202 abgebildet. ab ſtellt den horizontalen Durchſchnitt eines Multiplicators dar, an welchem der mittlere Drahtverlauf weggelaſſen iſt, um einen Blick in die Höhlung der Windungen zu geſtatten. Innerhalb dieſer letzteren befinden ſich die um die Axen m, m' drehbaren Magnetſtäbchen ns, $n's'$, deren benachbarte Enden s, n' leichte, mit capillaren Spitzen verſehene und mit einem ſchwarzen Pigmente gefüllte Schreibgefäßchen c, c' tragen. Zwei Stifte h, h', welche den äußerſten Polen n, s' der Magnete gegenüber ſtehen, verhindern das Ausſchlagen derſelben nach dieſer Seite hin, und demnach kann jeder Magnet mit ſeinem inneren Ende (s oder n') und ſeinem Schreibgefäßchen nur nach einer einzigen Seite hin ausſchlagen.

Fig. 202.



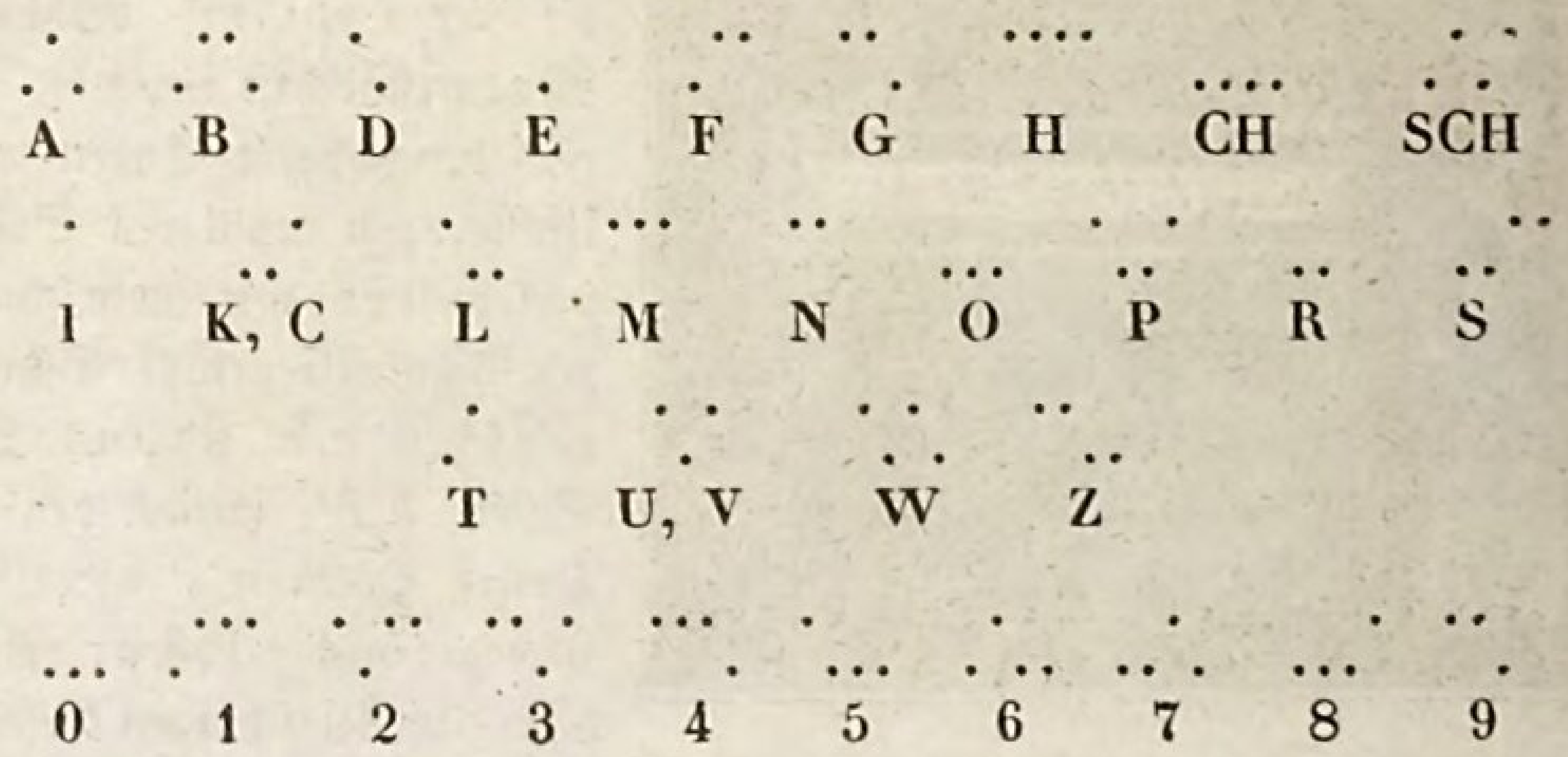
Wenn nun ein Strom von beſtimmter Richtung die Nadeln ſo afficirt, daß ihre Nordpole nach der Rechten ausſchwingen wollen, ſo wird die Nadel ns, durch h aufgehalten, in Ruhe bleiben, während $n's'$ ſo ausſchwingt, daß c' ſich nach der Rechten bewegt. Ein entgegengeſetzt gerichteter Strom bringt die entgegengeſetzte Bewegung hervor; es bleibt nämlich $n's'$, durch h' aufgehalten, in Ruhe, während ns ſo abgelenkt wird, daß das Dintengefäß c nach der Rechten ausſchlägt. Zur Hervorbringung dieſer zweifachen Ablenkungen iſt alſo nur die jedesmalige Umkehrung des Stromes erforderlich und Steinheil bringt dieſelbe durch Umlegen des Inductors einer Clarke'ſchen Rotationsmaſchine nach der einen oder anderen Richtung hervor.

Um dieſe Ablenkungen, durch deren Gruppirung die Buchſtaben dargeſtellt werden, als Schrift zu fixiren, läßt Steinheil vermittelſt eines Uhrwerkes einen langen Papierſtreifen über Rollen ſich gleichmäßig vor den Schreibgefäßen fort bewegen. Das Uhrwerk treibt die Rolle l, und dieſe wickelt den über die horizontal liegenden Rollen k, i laufenden und von der Vorrathswalze p kommenden Papierſtreifen $pikl$ langſam auf ſich auf.

Sobald alſo ein Strom den Multiplicator durchläuft, wird einer der Magnete abgelenkt und ſein Schreibgefäß gegen das Papier gedrückt. Der auf

ſolche Weiſe geſetzte Punkt wird ſogleich nach ſeinem Entſtehen durch die Bewegung des Papiers vom Schreibgefäße fortgerückt, um einem folgenden Punkte Platz zu machen. Eine wiederholte Ablenkung deſſelben Magneten muß alſo einen der Lage nach von dem vorhergehenden ganz verſchiedenen Punkt zeichnen. Die Schrift wird demnach bei *k* aufgedruckt und befindet ſich auf dem zwiſchen *k* und *l* befindlichen Streifen, bis ſie auf *l* aufgerollt wird.

Das Alphabet Steinheil's iſt folgendes:



Der Steinheil'ſche Telegraph wurde zwiſchen der königl. Akademie zu München und der Sternwarte zu Bogenhauſen eingerichtet; der Leitungsdraht wurde über die Häuſer und Thürme der Stadt aufgeſpannt, und hatte eine Länge (hin und zurück) von 30,500 Pariſer Fuß. Ein anderer 6000 Fuß langer Eiſendraht verband die Wohnung Steinheil's in der Lerchenſtraße mit der Akademie und der Sternwarte, und ein dritter Theil des Leitungsdrahtes (ein 1000 Fuß langer feiner Kupferdraht) führte im Innern der Akademie zu dem phyſikaliſchen Cabinette.

223 **Der einfache Morſe'ſche oder der Amerikaniſche Telegraph.** Schon im October des Jahres 1832, alſo fünf Jahre früher, als Wheatſtone ein Patent auf ſeinen erſten Nadeltelegraphen nahm, kam der amerikaniſche Profeſſor Morſe auf einer Reiſe, die er mit dem Packetboote Sully von Europa nach Amerike machte, auf die Idee, Elektromagnete zur Telegraphie zu verwenden. Indeſſen erſt nach vielen mühevollen Verſuchen kam er zum Ziele, und erſt im Jahre 1837 wurde die Einrichtung ſeines Drucktelegraphen bekannt gemacht.

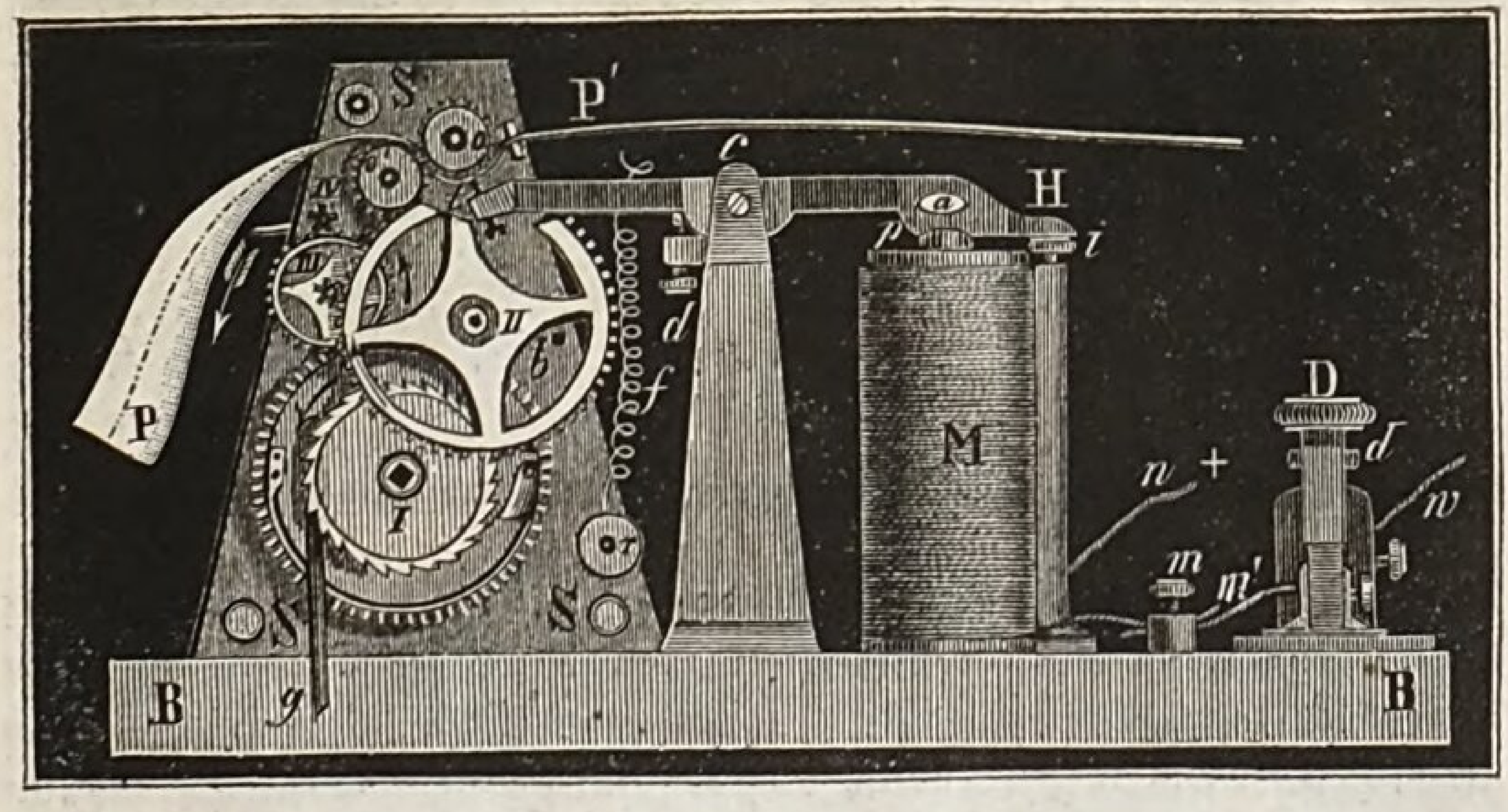
Der Apparat giebt nur zwei Elementarzeichen, einen Punkt und einen Strich; dieſe Zeichen werden auf der empfangenden Station einem vermittelſt eines Uhrwerkes ſich abwickelnden Papierſtreifen eingeprägt und ſtellen einzeln oder zu 2, 3, 4, 5, 6 combinirt die Buchſtaben, Ziffern und andere convenable Zeichen dar.

In ſeiner einfachſten Geſtalt beſteht der Telegraph Morſe's außer der Batterie und dem Leitungsdrahte:

1) aus dem Schreibapparate oder dem Räderwerk,
2) aus dem Schlüſſel oder dem Drücker.

Der Schreibapparat iſt in Fig. 203 abgebildet. *M* iſt der Elektromagnet; das Drahtgewinde deſſelben iſt einerſeits mit dem + Pole der Batterie,

Fig. 203.

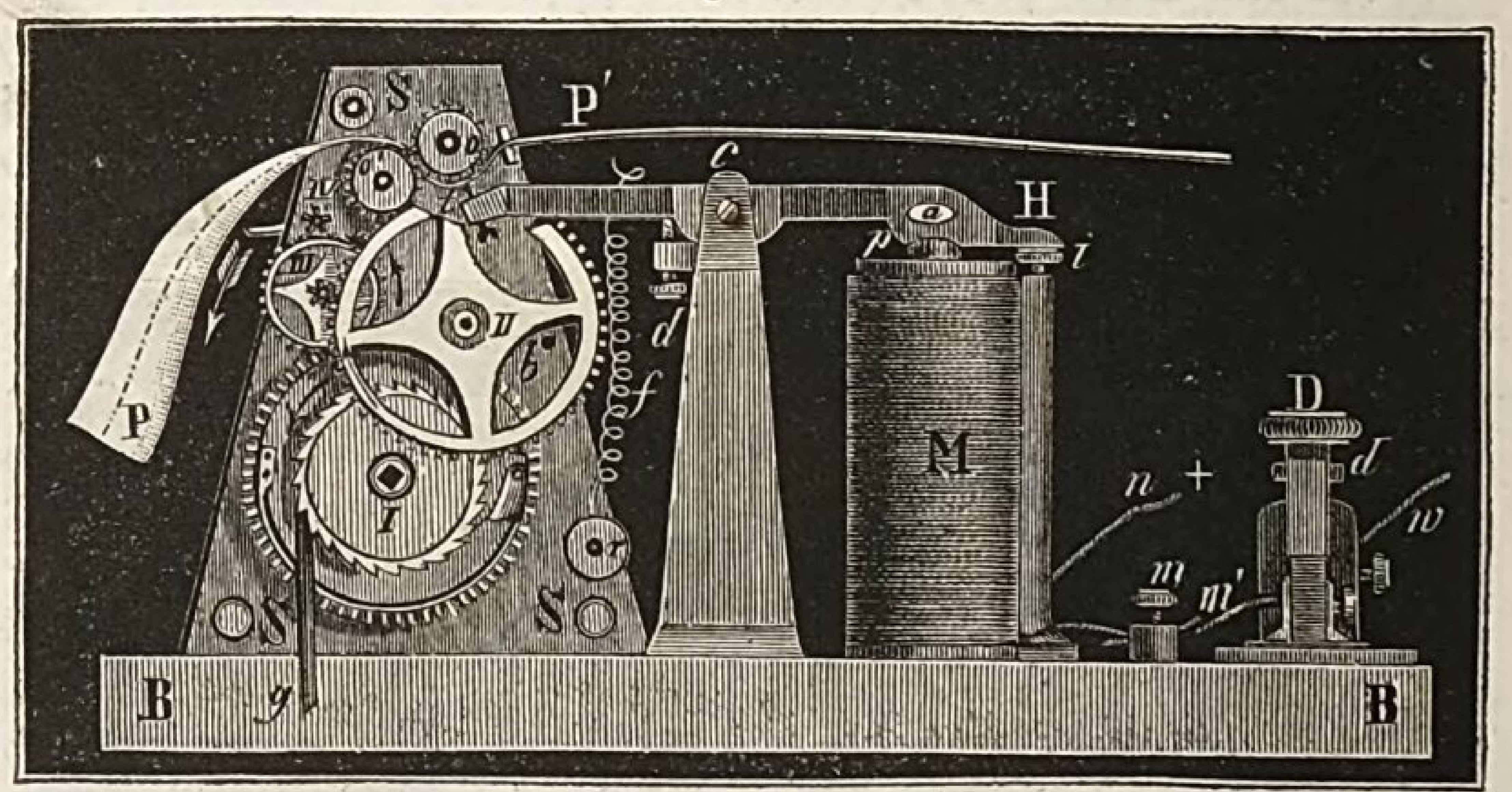


andererſeits mit dem Meſſingſäulchen *m* verbunden. Die Eiſenkerne *p* ragen etwas aus der Drahtrolle hervor. Der Anker *a* iſt an einem Hebel *Hct* befeſtigt, deſſen Drehpunkt in *c* liegt und deſſen Ende *t* einen wohl gehärteten Stahlſtift trägt. Durch die Schrauben *i* und *d* kann die Bewegung des Hebels *H* und des Stiftes *t* beliebig regulirt werden. Ein aus der Zeichnung leicht verſtändliches Syſtem von Rädern hat den Zweck, zwei einander ſehr nahe liegende Walzen *o* und *o'* in eine entgegengeſetzte Bewegung zu verſetzen und dadurch einen langen und ſchmalen Papierſtreifen *PP'* in gleichmäßiger Bewegung zwiſchen dieſen Walzen hindurch an den Stift *t* vorbeizuziehen. Die Walze *o* iſt genau an der Stelle, welche ſich über dem Stifte *t* befindet, mit einer Rinne verſehen, ſo daß der Stift bei ſeinem Aufſteigen das Papier, welches zwiſchen ihm und der eingekerbten Walze liegt, in dieſe Rinne hineindrücken und dadurch einen Eindruck in daſſelbe machen kann. Ein Stift, welcher bei *b* eingeſteckt wird, oder auch ein Frictionsreifen, der auf die Welle eines der Räder gelegt wird, hält das ganze Räderwerk während des Ruhezuſtandes in Stillſtand; zieht man den Stift *b* heraus oder ſchlägt man den Frictionsreifen zurück, ſo ſetzt ſich das Uhrwerk in Bewegung.

Die Signale beſtehen, wie bereits geſagt, aus Gruppen von Punkten und Strichen. Sobald nämlich ein Strom den Elektromagneten *M* um-

kreiſet, wird *a* angezogen, der Stift *t* wird in die Höhe geſchnellt und macht in den Papierſtreifen einen Eindruck. Bei der Unterbrechung des Stromes

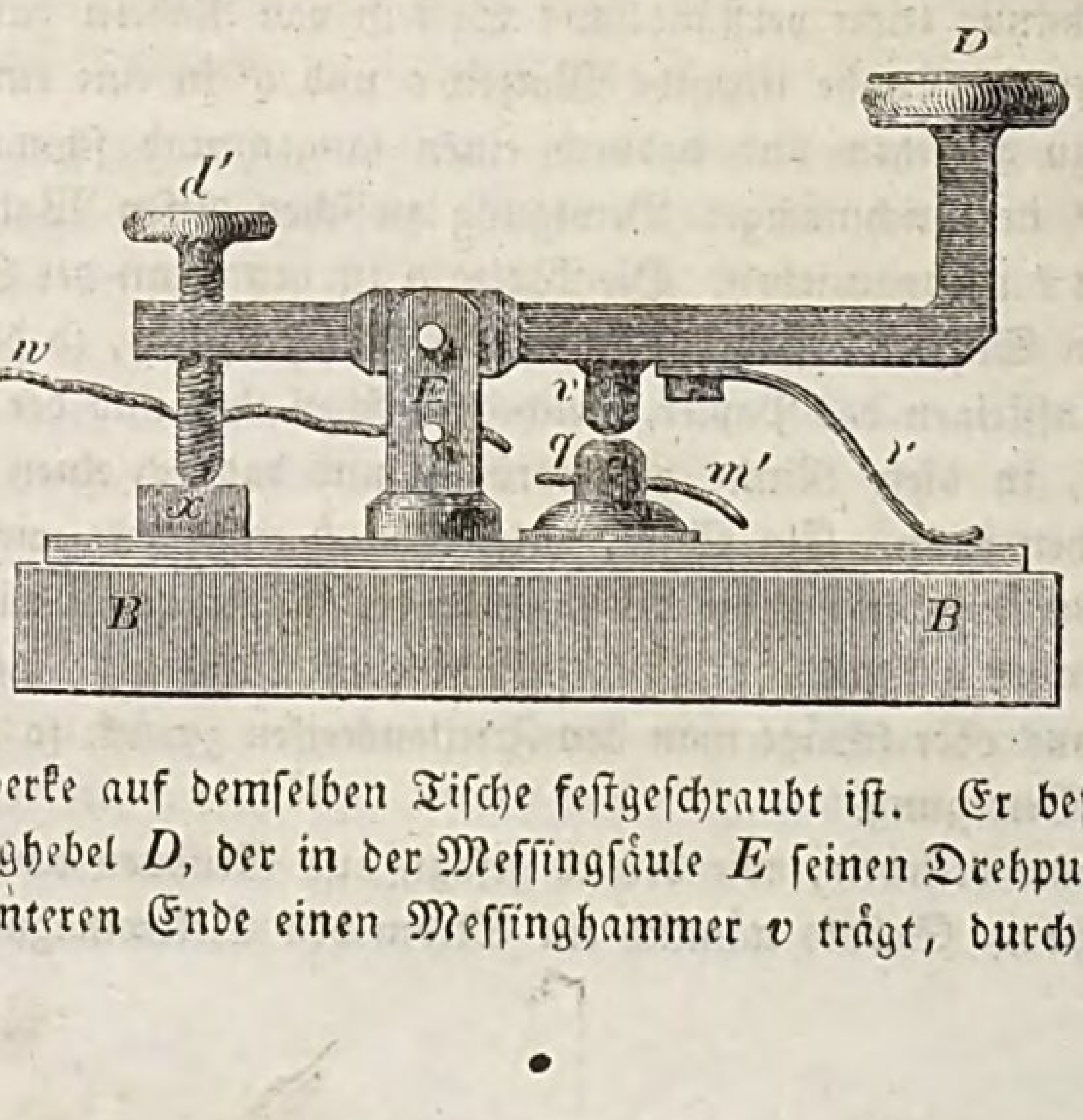
Fig. 204.



hört auch die Anziehung des Magneten auf und die Feder *f* zieht an dem Hebelarme *c t* den Stift *t* zurück. Dauert daher der Strom nur einen Augenblick, ſo macht *t* einen Punkt, dauert er länger, ſo entſteht auf dem ſich bewegenden Papierſtreifen eine Linie. Unterbricht man den Strom eine Weile und ſtellt ihn darauf wieder her, ſo entſteht zwiſchen den Eindrücken des Papiers eine Lücke.

Dieſe verſchiedenen Bewegungen des Stiftes *t* werden durch den Schlüſſel (Fig. 205) hervorgebracht, der in (Fig. 204) mit *D* bezeichnet und mit

Fig. 205.



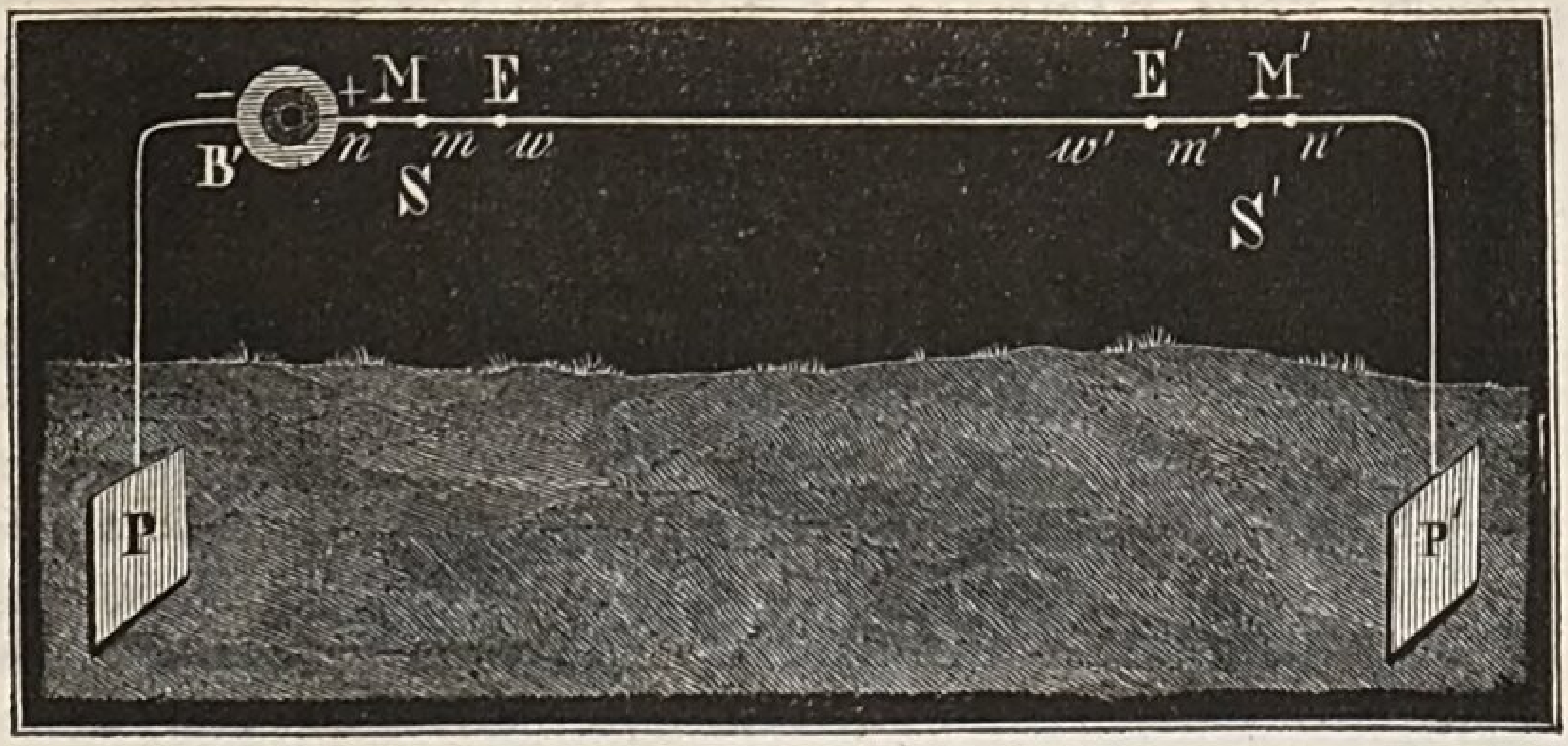
dem Räderwerke auf demſelben Tiſche feſtgeſchraubt iſt. Er beſteht aus einem Meſſinghebel *D*, der in der Meſſingſäule *E* ſeinen Drehpunkt hat und an ſeinem unteren Ende einen Meſſinghammer *v* trägt, durch welchen er

bei ſeinem Niedergehen mit dem darunter befindlichen Meſſingamboß q in Verbindung treten kann. Die Feder r ſucht den Arm D ſtets aufwärts zu treiben. Vermittelſt der Schraube d', welche durch den Druck von r beſtändig auf dem Elfenbeinſtück x aufruht, läßt ſich der Hebelarm D ſo tief herabbringen, daß der Hammer v mit dem Amboß q in inniger Berührung iſt. Dieſe Stellung nimmt der Schlüſſel ein, wenn er nicht arbeitet; man ſagt dann, der Schlüſſel iſt geſchloſſen; im anderen Falle, wenn v mit q nicht in Berührung iſt, nennt man den Schlüſſel offen.

Das von dem Elektromagneten M (Fig. 204) kommende und in dem Säulchen m feſtgeſchraubte Ende des Umwindungsdrahtes ſteht durch den Zwiſchendraht m' mit dem Amboß q des Schlüſſels in Verbindung; in der Säule E iſt dagegen das Ende w des von einer Station zur andern ſich erſtreckenden Leitungsdrahtes feſtgeſchraubt.

Der Apparat in Thätigkeit. In der ſchematiſchen Figur 206 bezeichnen S, S' zwei Stationen der Telegraphenlinie; B die auf einer der

Fig. 206.



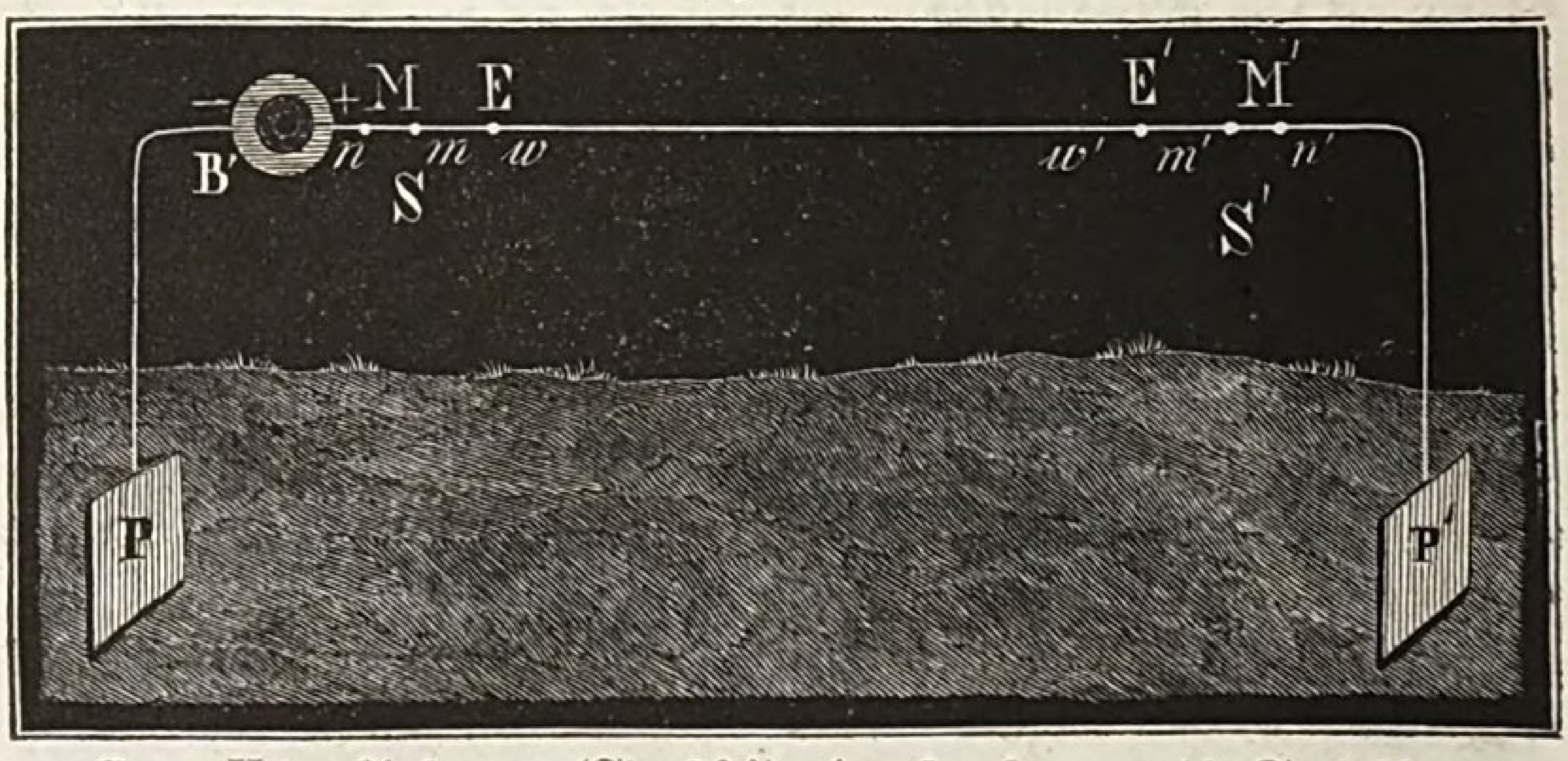
Stationen aufzuſtellende Batterie; M, M' die Elektromagnete nebſt ihrem Räderwerke (Fig. 204); E, E' die Schlüſſel (Fig. 205), w, w' den Leitungsdraht; P, P' die Erdplatten, von denen P mit dem —Pole der Batterie, P' mit dem Umwindungsdrahte des Elektromagneten M' in Verbindung ſteht.

In der Ruhelage ſind die Schlüſſel auf beiden Stationen geſchloſſen und es circulirt demnach der Strom der Batterie B ununterbrochen von q (Fig. 205) zu v und E, w u. ſ. w. überſtrömend durch die ganze Leitung und um die Eiſenkerne von M, M'. Die Anker a (Fig. 204) ſind daher bleibend angezogen und die Schreibſtifte t drücken gegen das Papier.

Will die Station S eine Depeſche abgeben, ſo öffnet ſie ihren Schlüſſel durch Lüftung der Schraube d' (Fig. 205), und unterbricht dadurch den Strom. Demnach fällt der Anker a (Fig. 204) ſowohl auf S' als auf S

ab. Durch eine raſche Wiederholung des Schließens und Oeffnens des Schlüſſels ED wird die Batterie abwechſelnd geſchloſſen und geöffnet, und

Fig. 207.



das Ende H des Ankers a (Fig. 204) eben ſo oft gegen die Stahlſchraube z geſchnellt. Dieſes *Hämmern* des Ankers dient dem Telegraphiſten auf der Station S' als Signal für den Anfang des Telegraphirens. Letzterer ſetzt alſo ſein Räderwerk in Bewegung; der Papierſtreifen PP' bewegt ſich in Folge deſſen langſam am Stifte t vorbei.

Indem nun der Telegraphiſt in S den Arm D mit dem Hammer v des Schlüſſels einen Moment auf den Amboß q niederdrückt, alſo den Schlüſſel momentan ſchließt, wird auf der Station S', wo der Schlüſſel die *geſchloſſene* Stellung beibehält, von dem Schreibſtift ein *Punkt* geſetzt; hält der Telegraphiſt in S den Schlüſſel einige Augenblicke hindurch geſchloſſen, ſo erzeugt der Schreibſtift auf S' eine *Linie*. Bleibt der Schlüſſel in S ſo lange offen, als Zeit nöthig iſt, um drei Punkte zu machen, ſo entſteht in S' auf dem Papier in der Reihe der Eindrücke eine Lücke, welche das Ende eines Buchſtaben anzeigt, während eine doppelt ſo große Lücke als Signal für das Wortende gilt. — 10 bis 20 dicht hinter einander folgende Punkte oder auch eine lange Linie zeigen das Ende der Depeſche an, worauf die *empfangende* Station S' ihr Räderwerk arretirt und die *arbeitende* Station S ihren Schlüſſel ſchließt.

Als beſtes Material für den Schreibſtift hat ſich nach vielen Verſuchen mit Bleiſtiften, Dinten und allen möglichen Pigmenten, ein aus dem härteſten Stahl angefertigter Stift erwieſen; einmal gehörig geſchärft und geſtellt, macht er, ohne das Papier zu zerreißen, ſeine Eindrücke in daſſelbe, die ſcharf genug ſind, um leicht erkannt zu werden.

In dieſer Form kam *Morſe's* Telegraph zuerſt auf der telegraphiſchen Linie zwiſchen *Baltimore* und *Waſhington* zur Anwendung. Die beiden Erdplatten P, P' waren von Kupfer, 5 Fuß lang und $2^1/_2$ Fuß breit.

Das Morſe'ſche Alphabet, in welchem längere und kürzere Striche vorkamen, und das überhaupt nach Maßgabe der engliſchen Schrift gebildet war, wird jetzt nicht mehr gebraucht; man wendet gegenwärtig zur Darſtellung von Signalen nur Punkte und kurze Striche von gleicher Länge an; auf das für die deutſche Correſpondenz eingerichtete Alphabet kommen wir in der Folge noch zurück.

Das Uebertragungsprincip und das Relais. Da behufs des 224
Betriebs eines Telegraphen der Strom in der Regel bedeutend lange und noch dazu feine Drähte zu durchlaufen hat, ſeine Intenſität aber eben hierdurch ſehr geſchwächt wird, und außerdem durch den Mangel einer vollſtändigen Iſolirung der Drahtleitung vom Erdboden ein beträchtliches Quantum des Stromes auf Nebenwegen ſeinen Kreislauf vollendet, ohne das Ende der Leitung und die daſelbſt eingeſchalteten Zeichengeber erreicht zu haben: ſo reichen zum Betriebe derjenigen Apparate, welche einen ſchweren Gang haben und eine bedeutende Tragweite entwickeln ſollen, die gewöhnlichen und die im Vorhergehenden beſchriebenen Mittel nicht mehr aus.

In ſolchen Fällen läßt man die Hauptbatterie, deren Strom durch den ganzen Leitungsdraht nach der entfernten Station hingeleitet wird, und daher Leitungsbatterie genannt wird, nicht mehr direct auf die Elektromagnete der entfernten Zeichengeber einwirken, ſondern man verwendet dieſen Strom bloß dazu, um daſelbſt irgend eine kleine Bewegung zu erzeugen und dadurch eine zweite, hier ſtehende Batterie, Localbatterie genannt, abwechſelnd zu öffnen und zu ſchließen. Die Localbatterie wirkt dann direct auf die Elektromagnete des Zeichengebers und beſteht meiſtens, weil ihr Strom nur ſehr kurze und dicke Drähte ohne alle Nebenſchließung zu durchlaufen hat, alſo auf ſeinem Wege nur ſehr wenig geſchwächt wird, aus wenigen Elementen.

Die Vorrichtung, auf welche die entfernte Leitungsbatterie einwirkt und die ihrerſeits wieder die Localbatterie öffnet und ſchließt, heißt Uebertrager oder Relais. Das Princip iſt bei ihnen allen daſſelbe; die Conſtruction ihrer einzelnen Theile und die Art ihrer Einſchaltung zwiſchen den Leitungsdraht und den Apparat iſt durch die Einrichtung des Zeichengebers, mit dem ſie in Verbindung ſtehen, bedingt.

Wheatſtone (Dingler's Journal Bd. 72, S. 215 ff.) hat dieſes Princip zuerſt, im Jahre 1839, aufgeſtellt und davon eine ſinnreiche Anwendung auf ſeinen elektromagnetiſchen Wecker gemacht. Im Jahre 1845 brachte Morſe einen vervollkommneten Apparat von Amerika nach Paris und deponirte ihn dort, ohne ihn vorgezeigt zu haben, auf der amerikaniſchen Geſandtſchaft (Compt. rend. 1846, Bd. 23, S. 880).

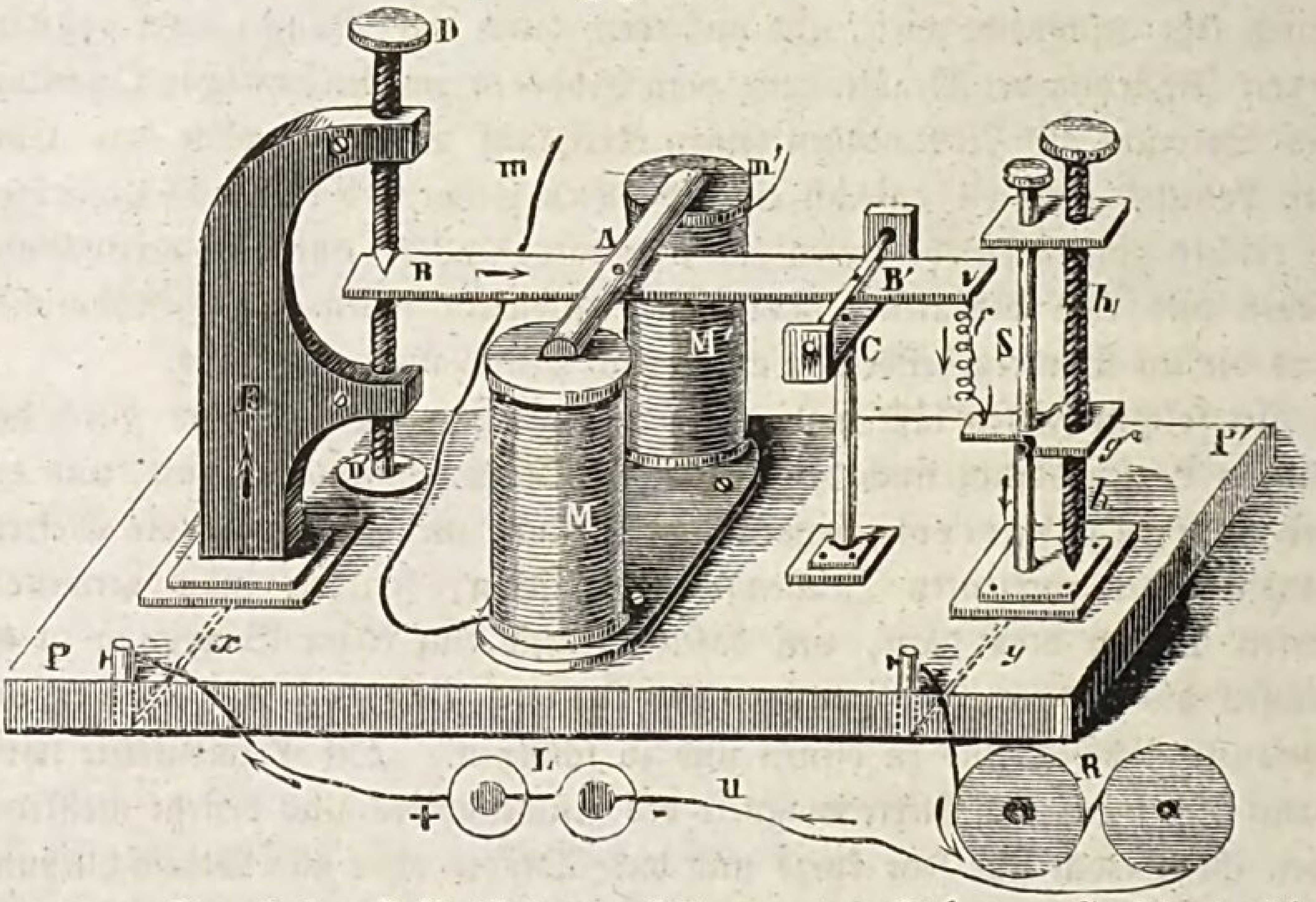
In der neueſten Zeit haben ſich Robinſon, Halske, Siemens, Kramer und Stöhrer mit der Verbeſſerung dieſer Vorrichtungen be-

ſchäftigt und gegenwärtig ſind dieſelben faſt auf allen längeren Linien in der einen oder der anderen Geſtalt in Anwendung.

Am intereſſanteſten und am meiſten gebraucht iſt das Relais zu Morſe's Telegraph, wie es gegenwärtig auf faſt allen längeren Linien Amerikas, Preußens (Berlin — Deutz, Berlin — Hamburg, Berlin — Frankfurt), Oeſterreichs u. a. in Anwendung iſt.

In Fig. 208 iſt *MM'* ein Elektromagnet mit ſehr vielen Umwindungen eines feinen Kupferdrahtes; *A* der auf dem Hebel *BB'* befeſtigte Anker

Fig. 208.



deſſelben. Der Hebel *BB'* iſt in den Pfannen des Ständers *C* leicht drehbar und liegt mit ſeinem Ende *B* zwiſchen den Spitzen zweier Schrauben *D* und *D'*, von denen die obere *D* von Elfenbein iſt, die andere aber mit dem Metallkörper des Trägers *E* in leitender Verbindung ſteht. Eine Spiralfeder *f*, die an dem verſchiebbaren Plättchen *g* befeſtigt iſt und durch die Schraube *h* je nach Bedürfniß angeſpannt oder nachgelaſſen werden kann, hält den Anker *A* von den darunter liegenden Eiſenkernen des Elektromagneten *MM'* entfernt und drückt das Ende *B* gegen die Elfenbeinſpitze der Schraube *D* loſe an, ſo lange kein Strom durch die Windungen von *MM'* circulirt; wird aber dieſer Strom eingeleitet, ſo giebt die Feder *f* nach, *A* wird angezogen und der Meſſinghebel *BB'* tritt mit der unteren Schraube *D'*, ſo wie mit *E* in metalliſche Verbindung. Alle dieſe Theile *E, MM'*, *C, S* und *h*, ſind durch Elfenbeinplättchen, auf denen ſie ſtehen, von einander iſolirt. Von den Metallſtändern *E* und *S* aus gehen unter der hölzernen Geſtellplatte *PP'* die Drähte *x*, *y* zu zwei Drahtklemmen, die das Relais mit der Localbatterie und dem Räderwerke (Fig. 204) verbinden.

In der Fig. 208 ſtellt R den Elektromagneten dieſes Räderwerkes, L die Localbatterie vor; die Art und Weiſe der Einſchaltung dieſer Theile in das Relais iſt aus der Zeichnung ohne Weiteres verſtändlich. Die Enden m, m' des Umwindungsdrahtes von MM' im Relais mögen nach der entfernten Station hingeleitet und dort mit den Polen der Leitungsbatterie verbunden gedacht werden.

Wird nun die Leitungsbatterie geſchloſſen, ſo wird auf der entfernten Station der Anker A angezogen und es tritt B mit D' in Berührung. Dadurch iſt aber die Localbatterie L geſchloſſen und liefert einen Strom in der Richtung $+$, x, E, D', BB', f, g, S, y, um R, u, —, in Folge deſſen der Schreibſtift t (Fig. 204) einen Punkt oder, bei längerer Dauer des Stromes um MM', eine Linie macht. Sobald die Leitungsbatterie auf der entfernten Station unterbrochen wird, zieht die Feder f im Relais den Anker A wieder ab, B verläßt die Schraube D' und lehnt ſich gegen D an, der Localſtrom aus L iſt alſo ebenfalls unterbrochen und der Schreibſtift in R fällt wieder ab.

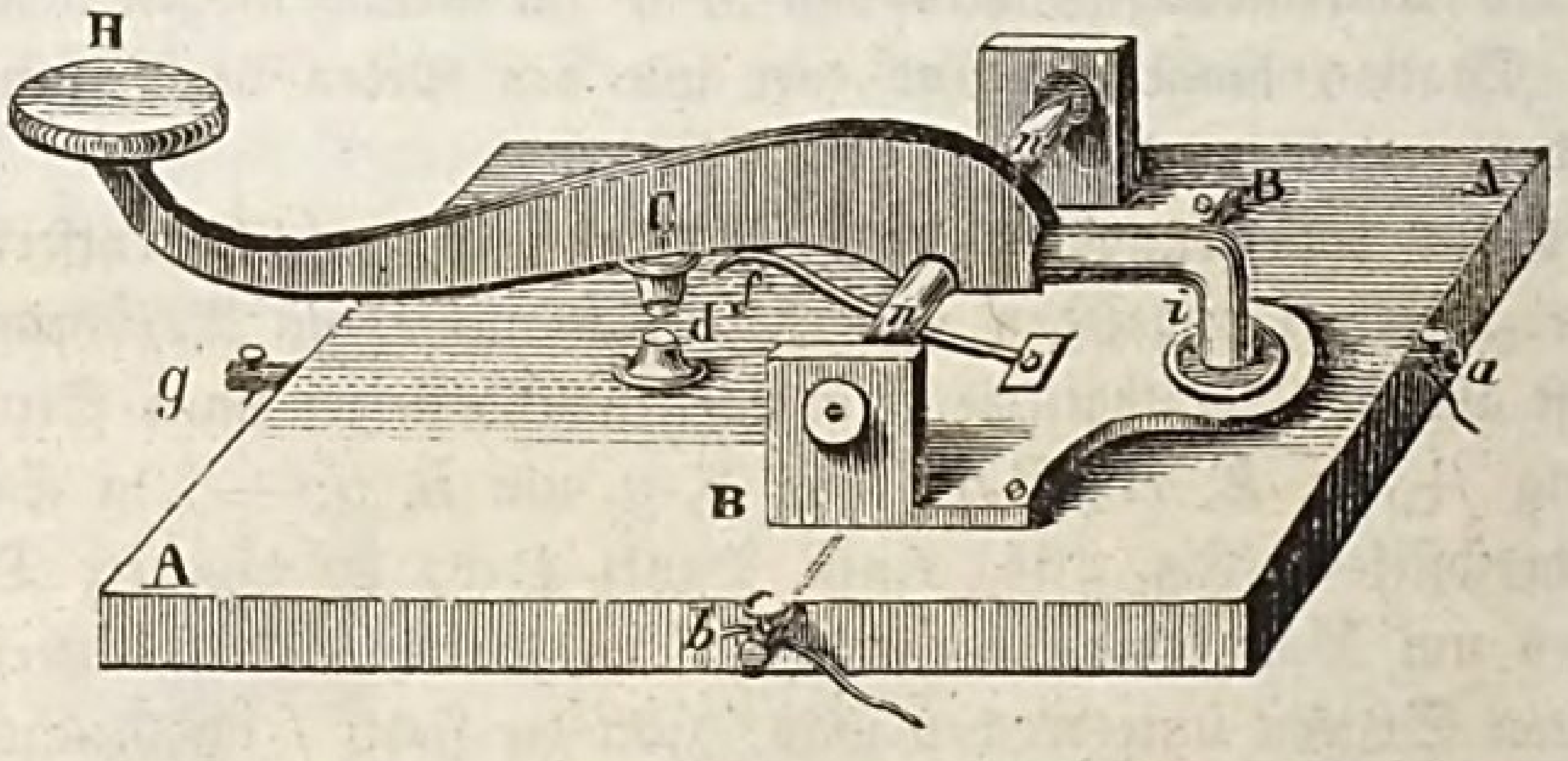
Mittelſt dieſes Relais oder Uebertragers erlangt der Morſe'ſche Telegraph, der ohne daſſelbe wegen des bedeutenden Kraftaufwandes, den der Schreibſtift erfordert, entweder nur auf kürzeren Strecken zu gebrauchen iſt, oder auf längeren Linien eine unverhältnißmäßig große Batterie erfordert, bei einer kleinen Batterie eine ſehr bedeutende Tragweite; denn da der durch die Drahtleitung circulirende Hauptſtrom nur den leicht beweglichen Anker des Relais zu führen hat, wozu eine ganz geringe Kraft ausreicht, der Localſtrom aber beliebig ſtark gemacht werden kann, ſo vermag der Schreibſtift auf 100 und mehre Meilen Entfernung ohne Zwiſchenſtationen mit großer Beſtimmtheit ſeine Zeichen zu geben.

Es bleibt noch übrig, um eine vollſtändige Anſchauung von der Art und 225
Weiſe zu erhalten, wie gegenwärtig Morſe's Syſtem mit dem Relais zwiſchen ſehr weit von einander entfernten Stationen (Berlin — Cöln) zur directen Correſpondenz (d. h. ohne Anwendung von Zwiſchenſtationen) in Anwendung kommt, die Einſchaltungsweiſe des Räderwerkes, des Schlüſſels, der Leitungs- und der Localbatterie, ſo wie des Relais in dem Leitungsdraht näher anzugeben.

Der Schlüſſel hat hierbei folgende von der in Fig. 205 angegebenen Conſtruction etwas abweichende Einrichtung: Der Drücker H (Fig. 209 ſ. f. S.) ſteht durch ſeine Drehaxe nn und deren Lager BB mit der Drahtklemme b in beſtändiger Verbindung; außerdem kann er durch Niederdrücken mit dem Meſſingamboß d, der durch einen Draht mit der Klemme g verbunden iſt, in Berührung gebracht werden, während er im Ruhezuſtande mit ſeinem Vorderende i auf einem von dem Lager BB durch einen Elfenbeinring iſolirten, und mit der Drahtklemme a verbundenen Metallſtück,

das in der Zeichnung ſchraffirt erſcheint, aufſteht; die Feder *f* drückt nämlich den Vorderarm *HC* ſtets aufwärts. In dieſem Zuſtande, wo *C* von

Fig. 209.



d getrennt iſt, heißt der Schlüſſel offen, im andern Falle, wenn *C* gegen *d* niedergedrückt wird, heißt er geſchloſſen.

Die ſchematiſche Figur 210 erläutert nun das Arrangement der drei Haupttheile, des Räderwerkes *R* (Fig. 204 *), des Relais oder des Uebertragers *Ü* (Fig. 208) und des Schlüſſels *Sch* (Figur 209), ſo wie die Einſchaltungsweiſe der Leitungsbatterien *z' k''* und *k' z''*, der Localbatterien *L* und den übrigen Theil des Drahtverlaufes für zwei mit einander correſpondirende Stationen, z. B. Berlin und Cöln.

Die einzelnen Theile des Relais ſo wie des Schlüſſels ſind hier mit denſelben Buchſtaben bezeichnet, mit denen dieſelben Theile in den bezüglichen Figuren 208 und 209 bezeichnet ſind.

K, *K* bezeichnen die Erdplatten; der ſich zwiſchen *z* und *k* erſtreckende Draht iſt der entweder auf Stangen durch die Luft ausgeſpannte, oder, wie in Preußen, in einer Gutta-Percha-Hülle eingeſchloſſene Leitungsdraht.

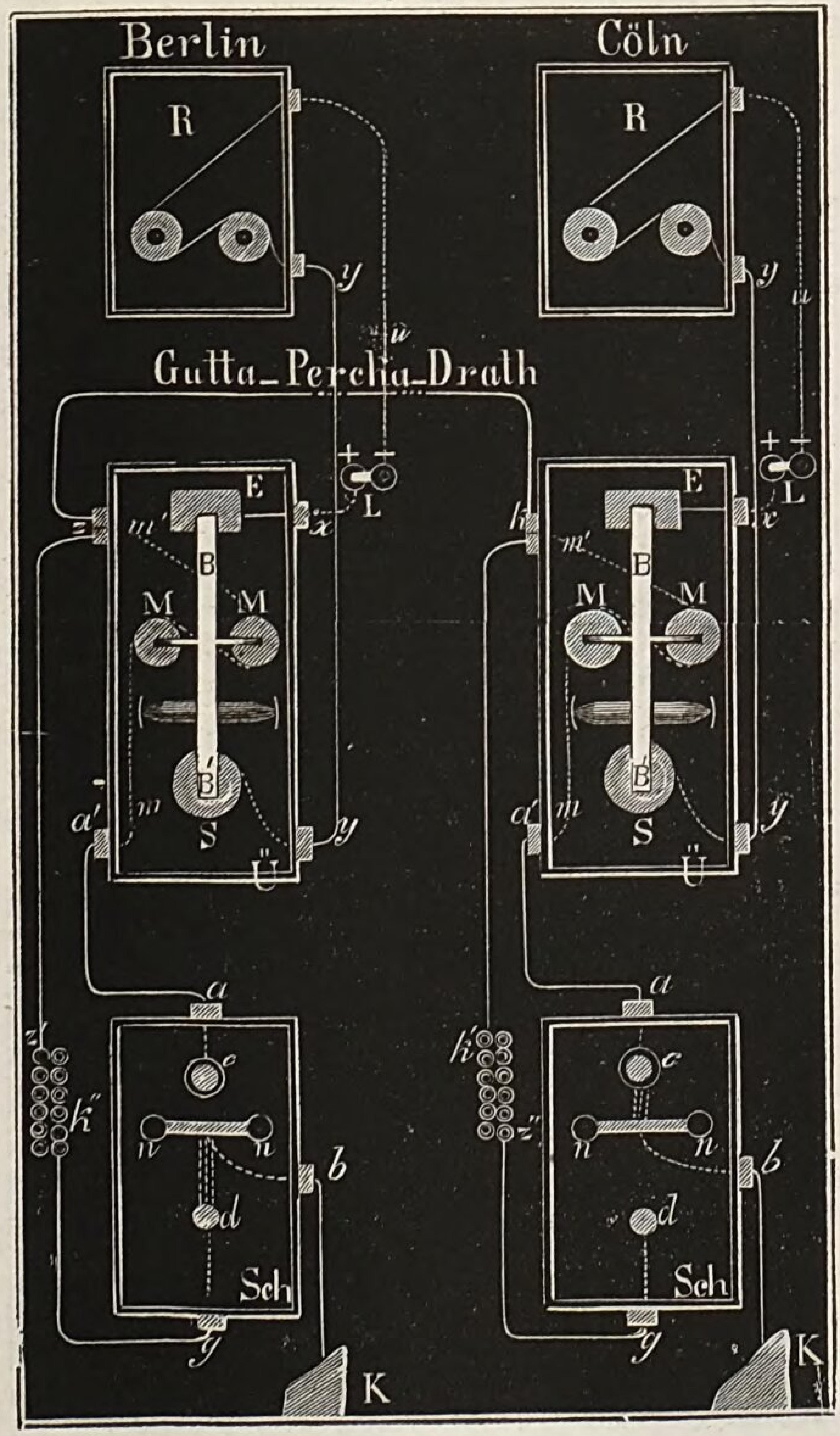
In dem Ruhezuſtande des Telegraphen iſt auf beiden Stationen der Schlüſſel offen, d. h. es ſteht der Hebel *HCi* (Fig. 209) und ſeine Axe *nn*, daher auch *b* und *K*, mit *c* und *a* in Verbindung. Dadurch iſt ſowohl jede Localbatterie, als auch jede Leitungsbatterie offen, denn der Strom der erſtern findet bei *E* (Fig. 208), der Strom der letztern bei *d* (ſ. Cöln) keine weitere Leitung.

Berlin will nun eine Depeſche abgeben: Der Telegra-

*) Die Stücke *m*, *m'*, *Dd'w* dieſer Figur ſind im Gedanken zu entfernen, und die Drahtenden des Elektromagneten zu befeſtigen, wie es die Figur 210 angiebt.

phiſt in Berlin drückt den Griff *H* (Fig. 209) nieder und ſchließt den Schlüſſel, wodurch *d* mit *nn* und *b* in Verbindung tritt, die Verbindung zwiſchen *nn* und *c* aber aufgehoben wird. Hierdurch iſt die Berliner Leitungsbatterie geſchloſſen und liefert einen Strom in der Richtung *k''*, *g*, *d*, *nn*, *b*, *K*, durch die Erde nach Cöln, in Cöln: *K*, *b*, *nn*,

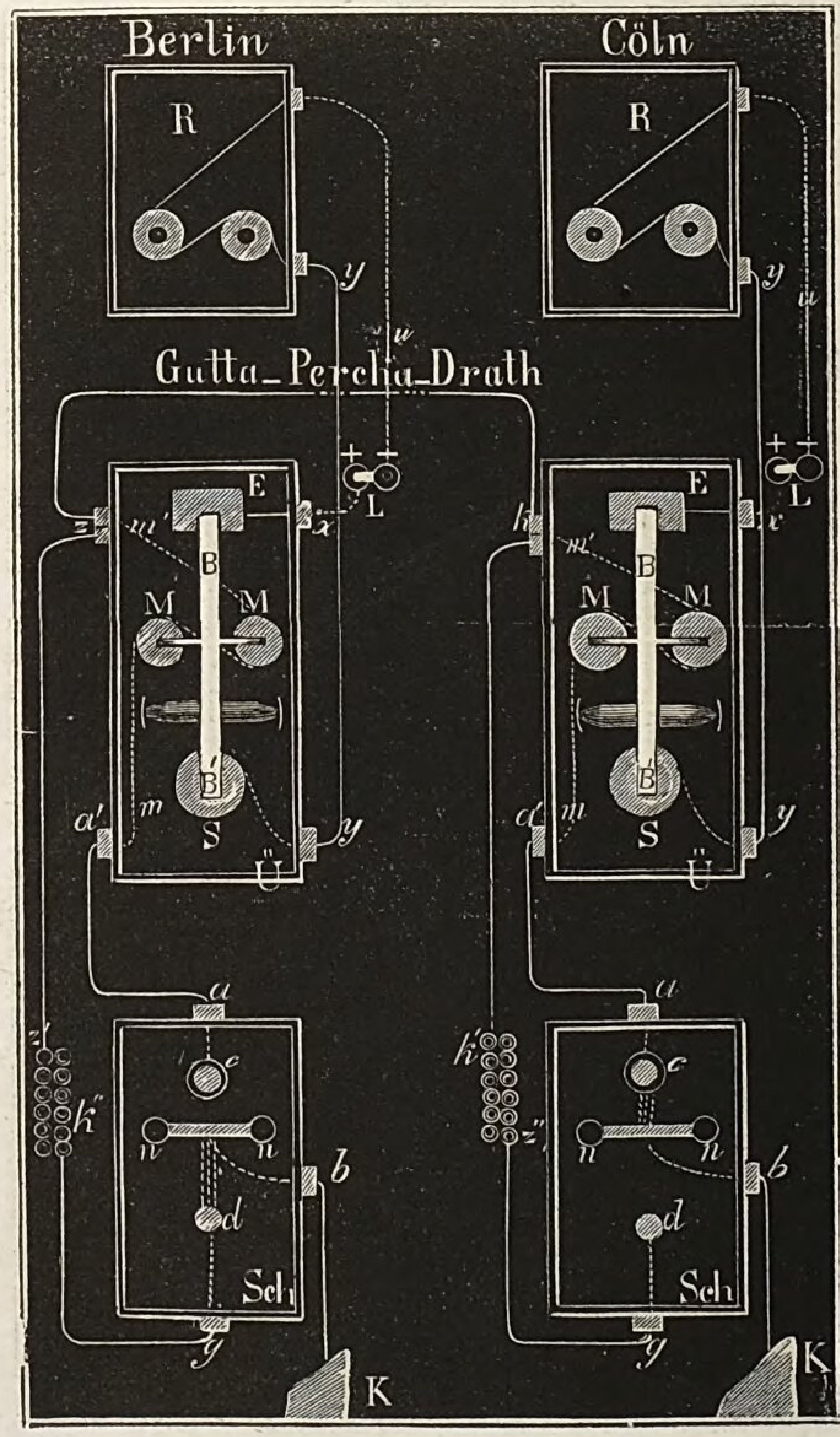
Fig. 210.



c, a, a', m, MM, m', k, durch den Leitungsdraht nach Berlin zurück, in Berlin: *zz'*.

Der Berliner Strom magnetiſirt alſo den Elektromagneten *MM* des Cölner Relais, wodurch, wie in Nr. 14 gezeigt wurde, in Cöln der Hebel *BB'* mit *E* in Verbindung tritt, die Localbatterie *L* geſchloſſen,

Fig. 211.



und ein Strom in der Richtung $+, x, E, BB', S, yy, R, u,$ — um den Elektromagneten des Schreibſtiftes geleitet wird, in Folge deſſen der letztere einen Eindruck auf das Papier macht.

Wenn der Berliner Telegraphiſt den Schlüſſel wieder öffnet, fällt in Cöln zunächſt der Anker des Relais wieder ab, in Folge deſſen aber wird die Localbatterie L wieder geöffnet und der Schreibſtift fällt ab. So lange aber in Berlin der Schlüſſel geſchloſſen bleibt, eben ſo lange drückt der Cölner Schreibſtift gegen ſein Papier, und erzeugt, wenn letzteres in Bewegung iſt, auf demſelben eine Linie.

Ein raſch hinter einander folgendes Hämmern mit dem Schlüſſel in Berlin, hat alſo ein Hämmern des Hebels H (Fig. 204) gegen i in Cöln zur Folge, und dieſes dient hier als Signal für den Beginn des Telegraphirens. Der Cölner Telegraphiſt ſetzt ſofort ſein Räderwerk in Bewegung und fängt an, die auf Papierſtreifen entſtehende Depeſche zu dechiffriren. Sobald das Signal für das Ende der Correſpondenz angekommen iſt, arretirt der Cölner Telegraphiſt ſein Räderwerk und giebt ſogleich durch Hämmern mit ſeinem Schlüſſel das Signal, daß er antworten will. Nun löſt der Berliner Telegraphiſt ſein Räderwerk aus und empfängt die Meldung von Cöln, ob die Depeſche verſtanden iſt oder nicht u. ſ. w.

Die vorſtehend beſchriebenen Morſe'ſchen Vorrichtungen ſtehen alle, ſammt dem Siemens=Halske'ſchen Zeiger=Apparate mit einem einzigen Leitungsdraht in Verbindung, und zwar vermittelſt eines äußerſt ſinnreich conſtruirten Wechſelapparates, der bald die Morſe'ſchen, bald die Siemens=Halske'ſchen Theile zwiſchen den Leitungsdraht und die Erdplatte einſchaltet. (Schellen's Telegr. S. 242.)

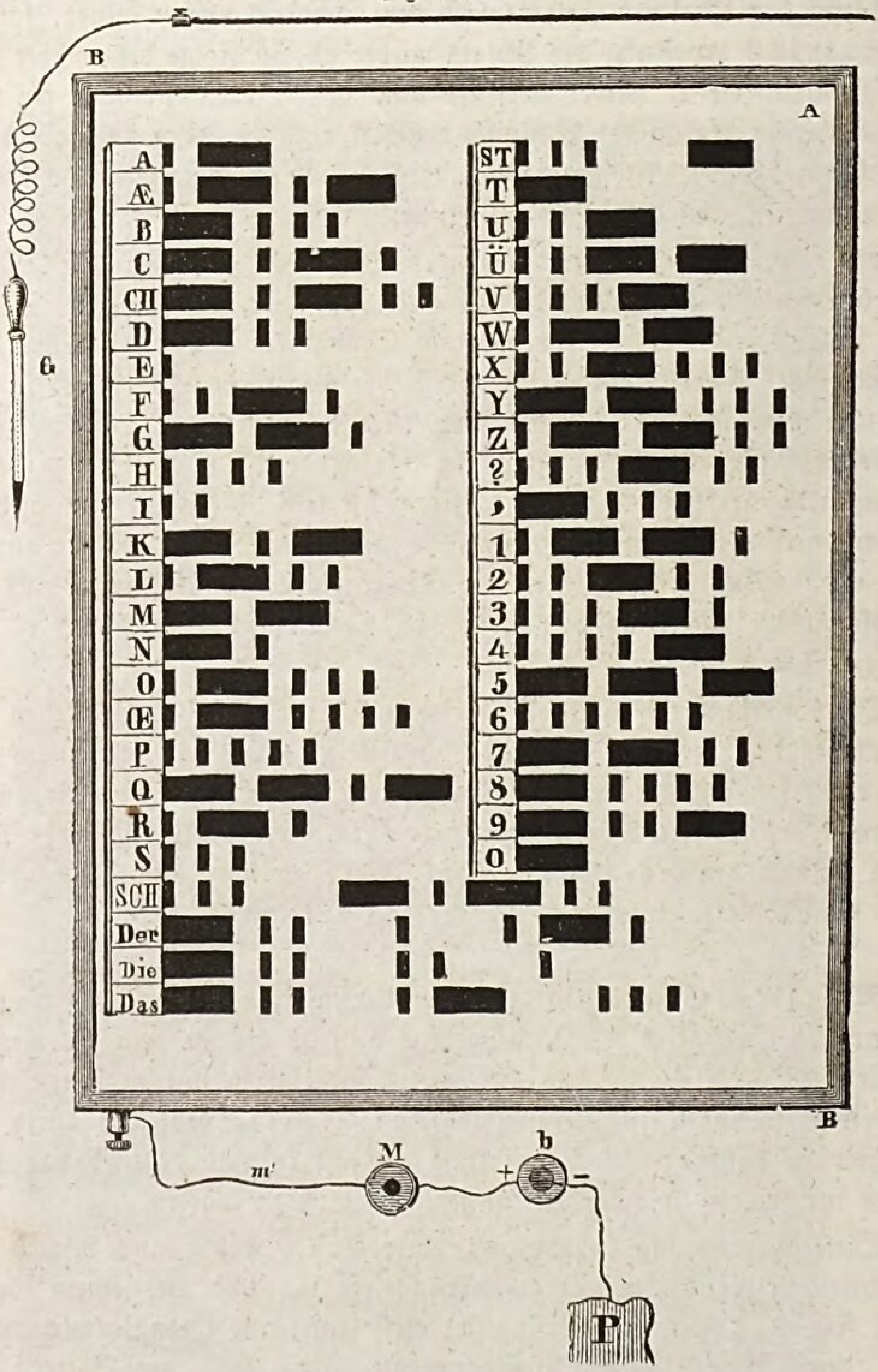
Morſe's Schreibplatte. Der Umſtand, daß die Aneignung der 226
manuellen Fertigkeit des Zeichengebens mittelſt des in dem Vorigen beſchriebenen Hebel=Schlüſſels für viele Individuen mit großen Schwierigkeiten verbunden iſt, veranlaßte ſchon Morſe, denſelben durch eine leichter zu handhabende Vorrichtung zu erſetzen und dadurch das Operiren mit ſeinem Telegraphen für jeden möglich zu machen.

Dieſe Vorrichtung beſteht aus einer Tafel, welche aus Leitern und Nichtleitern der Elektricität zuſammengeſetzt iſt, und aus einem Griffel. Die Fig. 212 (ſ. f. S.) verſinnlicht dieſe Tafel und ihren Zuſammenhang mit dem Morſe'ſchen Schreibapparate (Fig. 203), der Batterie und dem Griffel.

Die ſchwarzen Rechtecke der Tafel A ſind von Metall, die weißen Theile derſelben von Elfenbein. Jene gehen durch das Elfenbein feſt an=

liegend hindurch und ſind unterhalb der Elfenbeinplatte *A* an einer gemeinſamen Metallplatte *B B* angelöthet.

Fig. 212.



Dieſe Leitplatte *B* wird nun ſtatt des Hügels (Amboß) *q* im Morſe'ſchen Schlüſſel (Fig. 204) in die Drahtleitung gebracht, d. h. durch den Draht *m'* mit den Umwindungen des Elektromagneten *M* im Schreibap-

parat (Fig. 203) in Verbindung geſetzt. Der von der entfernten Station kommende Leitungsdraht w, welcher in Fig. 204 bei E des Schlüſſels eingeſchraubt iſt, iſt hier mittelſt eines dünnen, ſpiralförmig gewundenen, gut iſolirten Drahtes an den metallenen Kopf eines elfenbeinernen Griffels G befeſtigt, durch welchen, wie das Blei in einer Bleifeder, ein Kupferdraht hindurchgeht, der in eine rundlich zulaufende Spitze von Platina endigt.

Setzt man den leitenden Griffel G auf eines der Metallſtücke der Platte A, ſo wird die Batterie b begreiflicher Weiſe ebenſo geſchloſſen, als ob in Fig. 204 der Hebel D des Schlüſſels auf den Metallamboß q niedergedrückt worden wäre; denn der Strom circulirt vom + Pole aus durch die Umwindungen des Elektromagneten M im Schreibapparate über m' nach der Leitplatte BB und den ſchwarzgezeichneten Metallſtücken der Platte A, von wo er durch den Griffel G zu dem Leitungsdrahte w und der entfernten Station gelangt. Im Ruhezuſtande müſſen daher, damit die Leitung nirgendwo unterbrochen ſei und ein Continuum bilde, auf beiden Stationen die Griffel auf dem Metall der Platte A ruhen. Setzt man dagegen den Griffel auf eines der Elfenbeinſtücke, ſo wird die Leitung unterbrochen, die Batterie geöffnet und der Strom abgeſchnitten.

Sind daher die in der Elfenbeinplatte A eingelegten Metallſtücke nach dem richtigen Verhältniſſe des Morſe'ſchen oder ſonſt gewählten Alphabetes bemeſſen und für jeden Buchſtaben reihenweiſe eingeſetzt, wie die ſchwarzen Felder in der Zeichnung zeigen, und führt man den Griffel in gerader Linie über eine Reihe ſolcher eingelegten Stückchen, ſo punktirt und ſtrichelirt der Morſe'ſche Schreibſtift (Fig. 203) auch die Zeichen genau nach demſelben Verhältniſſe; denn der Schluß und die Unterbrechung des Stromes erfolgt genau nach dem Längenverhältniſſe der in die Platte A eingeſetzten Stückchen und ihrer Zwiſchenräume. So lange nämlich der Griffel auf Metall ſteht, bleibt der Strom hergeſtellt und der Schreibſtift in Fig. 203 angedrückt, ſo lange er über Elfenbein geht, bleibt der Strom unterbrochen. Daher bringt ein Gang des Griffels über ein kurzes Metallſtück in den Schreibapparat einen Punkt, ein gleichmäßiger Gang über ein Elfenbeinſtück eine Lücke hervor.

Die Zeichnung iſt nach dem folgenden Alphabete angeordnet, welches abweichend vom Morſe'ſchen nur Punkte und Striche von gleicher Länge enthält und ſich erfahrungsgemäß als ſehr zweckmäßig herausgeſtellt hat *):

---

*) Anmerk. Nach dieſem Alphabete wird u. A. auch in Preußen, Hannover, auf der Hamburg-Curhavener Linie gearbeitet. — Prof. Meißner in Braunſchweig iſt unabhängig von Morſe auf dieſelbe Idee gekommen, den Morſe'ſchen Schlüſſel durch die Schreibplatte zu erſetzen und nach

a •—	d—••	i••	o•—•••	s•••
ä •—•—	e•	k—•—	ö•—••••	t—
b—•••	f••—•	l•—••	p•••••	u••—
c—•—•	g——•	m——	q——•—	ü••——
ch—•—••	h••••	n—•	r•—•	v•••—

w•——	1•——•	6••••••	?•••—••
x••—•••	2••——••	7——••	/—•••
y——•••	3•••—•	8—••••	,—•••
z•——••	4••••—	9—••—	
	5———	0——	

Es iſt von ſelbſt klar, daß während des Arbeitens der Griffel *G* auf der empfangenden Station dauernd auf dem Metall der Platte *A* oder *B* ſtehen muß. Auch hat ſich als Erfahrungsſache herausgeſtellt, daß man, um zu telegraphiren, mit dem Griffel ganz ruhig, langſam und gleichmäßig über die Zeichen fahre, dafür aber nicht zu viel Zeit verſtreichen laſſe, um den nächſtfolgenden Buchſtaben aufzuſuchen.

Um das Abgleiten von einer Buchſtabenreihe zu verhüten, überdeckte Morſe die Buchſtabenplatte *A* noch mit einer nicht leitenden Richtplatte, welche mit langen ſchmalen Oeffnungen verſehen iſt und ſo auf die Buchſtabenplatte *A* gelegt wird, daß jeder Buchſtabe genau unter einer ſolchen Oeffnung ſteht. Beim Telegraphiren fährt der Signaliſt dann mit dem Griffel durch dieſe Oeffnungen hindurch, wie als ob er an einem Lineal gerade Linien zöge.

In Amerika iſt dieſe Schreibplatte häufig im Gebrauche; in Deutſchland arbeitet man dagegen mit dem Schlüſſel.

227 **Der Doppelſtift-Apparat von E. Stöhrer.** Unter der geſchickten Hand Stöhrer's hat das amerikaniſche Syſtem eine Abänderung erhalten, die bereits in Sachſen und in Baiern mehrfach in Anwendung iſt. Stöhrer wendet unter Beibehaltung eines einzigen Leitungsdrahtes zwei Elektromagnete am Räderwerke mit zwei Schreibſtiften an, welche vermittelſt eines Relais nach der Willkür des entfernten Telegraphiſten unter Anwendung zweier Schlüſſel einzeln in Bewegung geſetzt werden können. Dieſer hat demnach über 4 Elementarzeichen zu verfügen, einen obern und einen untern Punkt, eine obere und eine

---

den von ihm angeſtellten Verſuchen iſt jeder Telegraphiſt binnen ganz kurzer Zeit im Stande, damit ſicher zu arbeiten und ohne Anſtrengung, ja mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit, ohne zu ermüden, die längſten Depeſchen zu befördern.

untere Linie, ähnlich wie bei Steinheil. Das Stöhrer'ſche Alphabet iſt folgendes:

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
		—			—.	.—	.	.	..	.		
—	—.	.	.—	.			..		.	..	...	..

o	p	q	r	s	t	u	v	w	z	u. ſ. w.
...	—		..	.	.	—	.	..	.	
	.	.—.		.	.		—	.	..	

Da hierbei die einzelnen Buchſtaben im Allgemeinen durch weniger Elementarzeichen repräſentirt werden, als bei dem Einſtift-Apparate, ſo iſt klar, daß die Geſchwindigkeit, mit welcher der Stöhrer'ſche Apparat arbeitet, weit größer iſt, als bei dem Morſe'ſchen. Siemens hat das Stöhrer'ſche Relais bedeutend verbeſſert.

Die elektromagnetiſchen Wecker. Es ſtellte ſich bei der fort- 228
ſchreitenden Entwickelung der Telegraphie ſehr bald das Bedürfniß ein, neben den ſichtbaren Signalen auch hörbare geben zu können, um dadurch auf den Beginn des Telegraphirens aufmerkſam zu machen, überhaupt aber um dadurch von der Ferne her die mit der Aufſicht über eine Maſchine oder eine Eiſenbahnſtrecke beauftragten Wärter auf ihren Poſten rufen zu können.

Sömmering und Schilling conſtruirten ſchon Wecker, um die Aufmerkſamkeit des Telegraphiſten zu erregen; ſie beruhten auf der Zerſetzung des Waſſers und erfüllten ihren Zweck nur zum kleinſten Theile.

Erſt Wheatſtone (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 215.) löſte dieſe Aufgabe vollſtändig. Anfänglich ließ er das hebelförmig verlängerte Ende des Ankers eines Elektromagneten direct auf eine Glocke ſchlagen; aber die anziehende Kraft des Magneten war bei bedeutendern Entfernungen nicht ſtark genug, um einen etwas ſchweren Hammer mit der erforderlichen Kraft gegen die Glocke zu führen. Er verwandte daher die elektromagnetiſche Anziehung nur dazu, um einen leichten, im Ruheſtande das Räderwerk eines gewöhnlichen Weckers oder Uhrſchlagwerkes arretirenden Anker anzuziehen, durch dieſe Bewegung die Hemmung auszulöſen und das Schlagwerk ablaufen zu laſſen.

Man kann alle gegenwärtig in Anwendung kommende Wecker, Alarms, Glockenapparate, Signalgeläute oder wie ſie ſonſt heißen mögen, in zwei Klaſſen bringen: Wecker mit und ohne Uhrwerk.

Die erſteren ſind die gewöhnlichern und zerfallen wieder in zwei Klaſſen.

In dem einen Falle hat das Uhrwerk der Glocke einen auf dem Anker des Elektromagneten ſitzenden Sperrer, der das Räderwerk ſo lange arretirt, als der Elektromagnet nicht vom Strome umkreiſet iſt. So oft dann der Telegraphiſt die Batterie ſchließt, wird auf der Glockenſtation

der Anker angezogen, dadurch die Hemmung ausgelöſt, das Uhrwerk in Bewegung geſetzt und die Glocke zum Ertönen gebracht. Unterbricht der Telegraphiſt den Strom, ſo greift der abfallende Anker wieder in die Zähne des Räderwerkes ein und ſetzt daſſelbe in Stillſtand. Dahin gehört auch die Einrichtung, wobei im Ruhezuſtande der Anker den Wecker arretirt, beim erſten Anziehen aber das Uhrwerk frei macht und es vollſtändig ablaufen läßt. Bei dieſer Vorkehrung iſt nach jedem Wecken ein Aufziehen des Werkes nöthig.

In dem andern Falle kann der Telegraphiſt immer nur eine ganz beſtimmte Anzahl von Einzelſchlägen hervorrufen. Dann enthält eines der Räder auf ſeinem Umfange ebenſo viele Daumen, als die Glocke jedesmal Schläge thun ſoll. Die Daumen wirken auf den hebelförmig verlängerten Klöppel der Glocke; bei einem Umlaufe des Rades wird daher der Klöppel ſo oftmal niedergedrückt, als Daumen vorhanden ſind. Das Werk kommt dadurch zum Stillſtande, daß der letzte Daume einen Vorſprung hat, mit dem er gegen den nicht angezogenen Anker des Elektromagneten anhält. Wird der Anker angezogen, ſo wird dieſer Vorſprung frei und das Werk bleibt ſo lange in Bewegung, bis nach vollendetem Umlaufe des Daumenrades der Vorſprung des letzten Daumens ſich gegen den mittlerweile wieder frei gewordenen Anker anlegt.

Von dieſer Art ſind die Signalglocken, welche man hier und da auf den Wärterhäuschen einer Eiſenbahnlinie antrifft und die in der Regel bei jeder Auslöſung durch den Strom 12 oder 24 Glockenſchläge geben als Signal, daß der Zug von der benachbarten Station in der einen oder der andern Richtung abgefahren iſt. Durch einen einfachen Druck auf einen Knopf oder durch Umlegen eines Hebels ſchließt und öffnet ein Beamter die Batterie, ſobald der Zug ſich in Bewegung ſetzt.

Die Wecker ohne Uhrwerk zerfallen ebenfalls in zwei Klaſſen. In dem einen Falle wirkt der Anker des Elektromagneten direct auf den Klöppel der Glocke, und es muß daher der Telegraphiſt für jeden Glockenſchlag ſeine Batterie ſchließen und wieder öffnen. Sie ſind nicht mehr im Gebrauche, weil für größere Entfernungen eine ſehr ſtarke Batterie dazu erforderlich iſt, um den Elektromagneten bis zu dem Grade zu magnetiſiren, daß er durch Anziehung ſeines Ankers kräftige und weit hörbare Schläge hervorbringen kann.

In dem andern Falle hat der Telegraphiſt nur ein einzig Mal die Batterie zu ſchließen, um die entfernte Glocke in ein fortdauerndes Geläute zu verſetzen, das ſo lange anhält, als die Batterie in Wirkſamkeit bleibt. Man kann dieſe Art Geläute, die in phyſikaliſcher und mechaniſcher Beziehung die intereſſanteſten ſind, die continuirlichen Wecker oder Wecker mit Selbſtunterbrechung nennen. So viel bekannt, hat

gegenwärtig nur Siemens-Halske's Telegraph und deren Ausſchalter eine derartige Vorrichtung.

Bakewell's elektro-chemiſcher Telegraph. Die Londoner illu- 229
ſtrirte Zeitung vom 23. November 1850 theilt eine von Bakewell neu erfundene Anwendung der galvaniſchen Elektricität auf die Telegraphie mit, welche des einfachen Principes wegen auf den erſten Augenblick die größte Aufmerkſamkeit auf ſich zieht, näher ins Auge gefaßt, aber für die practiſche Anwendung nicht unerhebliche Schwierigkeiten mit ſich führen dürfte.

Der beſchriebene Apparat (Telegraph) beſteht aus einer metallenen Walze, welche durch ein Uhrwerk regelmäßig und ſehr raſch herumgedreht wird, am Ende dieſer Walze ſitzt auf derſelben Achſe ein Zahnrad, welches in ein davor liegendes zweites Zahnrad eingreift. Dieſes zweite Zahnrad ſitzt auf einer Schraubenſpindel, welche parallel neben der Walze in Lagern liegt, ſich alſo mit der Walze zugleich, jedoch nach entgegengeſetzter Richtung, bewegt.

Auf der Schraubenſpindel bewegt ſich eine loſe angeklemmte geſpaltene Schraubenmutter, die einen iſolirten Arm, an der Spitze mit einer Klemme für einen ſtählernen Griffel verſehen, trägt. Dieſer Griffel liegt mit ſeiner Spitze auf der Walze und beſchreibt bei der Bewegung durch das Uhrwerk eine enge Spirallinie auf derſelben. Von dem poſitiven Pol einer galvaniſchen Batterie führt ein Leitungsdraht nach dem metallenen Griffel, während einerſeits von der Metallwalze eine Leitungsfeder mit dem Leitungsdraht nach der entfernten Station verbunden iſt, andererſeits der negative Pol der Batterie an die Erdplatte führt Ein Bogen Papier angefeuchtet mit einer Auflöſung von blauſaurem Eiſenkali und verſetzt mit Salzſäure, wird um die metallene Walze gelegt, um den Apparat zur Aufnahme einer Depeſche vorzubereiten. Auf der correſpondirenden Station befindet ſich eine ganz gleiche Vorrichtung, nur wird auf dieſer Station der Bogen Papier, ehe er auf die dortige Walze gelegt wird, mit der zu telegraphirenden Depeſche mit einer iſolirenden Tinte, z. B. mit Firniß ꝛc. in nicht zu kleinen Buchſtaben beſchrieben und mit der Auflöſung des oben bezeichneten Blutlaugenſalzes gehörig befeuchtet.

Läßt man nun auf beiden Stationen die gleichmäßig gehenden Uhrwerke die Walzen bewegen, ſo ſtrömt die Elektricität auf der erſten Station jedes Mal, wenn der Griffel auf der zweiten Station keinen Schriftzug trifft, von dem poſitiven Pol aus dem ſtählernen Griffel durch das Papier in die Walze u. ſ. w., erzeugt durch die Zerſetzung des Eiſens Berlinerblau, daher die obenerwähnte Spirallinie tief blau erſcheint. So oft nun auf der zweiten Station der leitende Griffel einen iſolirenden

Schriftzug trifft, wird der galvaniſche Strom unterbrochen und die blaue Spirallinie auf der erſten Station wird in demſelben Verhältniß gleichfalls unterbrochen. Es bilden ſich demnach auf der Empfangsſtation die Schriftzüge weiß auf blauem Grunde.

Die Umſtändlichkeit des beſchriebenen Verfahrens läßt, wie leicht einzuſehen, noch ſehr viel zu wünſchen übrig, ehe Bakewell's Erfindung den Morſe'ſchen Apparat zu erſetzen im Stande ſeyn wird. Eine ähnliche, unter dem Namen Copier-Apparat bekannte telegraphiſche Vorrichtung von Bain, hat ſich bereits als unpractiſch bewieſen.

230 **Die Batterie.** Die weſentlichſte Anforderung, welche an eine für telegraphiſche Zwecke beſtimmte Batterie geſtellt werden muß, beſteht darin, daß der Strom derſelben bei einer hinreichend großen Intenſität auf längere Zeit in ſeiner Wirkung conſtant bleibe. Es iſt ſehr leicht, Batterien zuſammenzuſetzen, deren Strom lange conſtant bleibt; aber dieſe Ströme ſind in der Regel zu ſchwach, um die vielen Widerſtände, welche die Drahtleitung, die Erde, die feinen Umwindungsdrähte der Elektromagnete, die Polariſation u. ſ. w. bieten, zu überwinden (vergl. II. Abſchnitt S. 278.); die bekannten Batterien aber; welche ſtärkere Ströme liefern, erſchöpfen ſich gewöhnlich bald und verlangen eine häufige Erneuerung der Flüſſigkeiten. Die Aufgabe, eine der obigen Anforderung entſprechende und für den telegraphiſchen Betriebsgang geeignete Batterie zu conſtruiren, iſt daher trotz der vielfachſten Bemühungen noch nicht gelöſt, und es ſind gegenwärtig auf den verſchiedenen Telegraphen-Linien die mannichfaltigſten Combinationen in Anwendung.

Auf der Linie Berlin-Cöln-Verviers z. B. ſind ganz gewöhnliche Daniell'ſche Batterien im Gebrauch, die jeden Abend auseinandergenommen und jeden Morgen neu zuſammengeſetzt werden müſſen; in Amerika und zum Theil auch in Deutſchland iſt die Grove'ſche, in Oeſterreich die Smee'ſche Batterie im Gebrauch. Ihr Strom iſt bei weitem nicht ſo ſtark, als der aus Daniell'ſchen oder gar Grove'ſchen Zellen entwickelte iſt, und ſie eignen ſich daher nur für die mit Strömen von geringer Intenſität zu regierenden Nadeltelegraphen.

In England wird am meiſten die Sandbatterie angewandt, die aus Zink, Kupfer und Sand beſteht. Der Sand wird zwiſchen die Metallplatten in Tröge oder Fäſſer eingeſtampft und mit verdünnter Säure oder Salmiakauflöſung angefeuchtet. Von Zeit zu Zeit wird der Sand begoſſen und alle 5 — 6 Wochen, ja auf einigen Linien 6 — 8 Monate die ganze Batterie auseinandergenommen und gereinigt. (Vergl. II. Abſchn. S. 279.)

Gintl in Wien hat eine für transportable Telegraphen beſtimmte

Batterie zuſammengeſetzt, in welcher der flüſſige Leiter durch eine ſehr hygroſkopiſche Subſtanz erſetzt iſt und aus 30 Elementen von 4 Quadratzoll Oberfläche beſteht. Der Strom derſelben bleibt beinahe 3 Wochen ungeſchwächt, und iſt kräftig genug, um auf 30 — 40 Meilen Entfernung die Nadelapparate zu afficiren.

Stöhrer giebt an (Pogg. Annal. Bd. 77, S. 486), daß man durch Zuſammenſetzung von Kohle mit nicht amalgamirtem Zink und unter Anwendung einer concentrirten Alaunauflöſung eine Batterie von ſehr conſtanter Wirkung erhalten könne. Eine derartige, aus 9 Elementen beſtehende Combination hatte zwei Jahre lang zur Telegraphie gedient und beſaß doch noch beinahe ihre ganze urſprüngliche Stärke. Sie wird in einem verſchloſſenen Schrank aufbewahrt und höchſtens alle Monate einmal begoſſen.

Der einfachſte galvaniſche Erregungsapparat wurde im Jahre 1838 an dem Göttinger Telegraphen von Gauß (Schuhmacher's Jahrb. für 1839, S. 173.) hergeſtellt, indem er das eine Ende des Leitungsdrahtes mit einer Kupferplatte, das andere Ende mit einer Zinkplatte verband und beide Platten in die feuchte Erde eingrub. Es entſtand auf dieſe Weiſe ein einfaches Volta'ſches Element, in welchem eine 3000 Fuß dicke feuchte Erdſchichte zwiſchen den Metallplatten die Stelle einer angeſäuerten Pappſcheibe verſah. — Bain (Dingler's Journ. Bd. 90, S. 106.) erzeugte durch eine gleiche Vorkehrung einen lange andauernden und conſtanten Strom und er unterhielt damit ſeine galvaniſche Uhr auf lange Zeit in regelmäßigem Gange. Es iſt indeſſen ſchon im Abſchn. II. S. 280 bemerkt worden, und die Erfahrungen der neuern Zeit beſtätigen es, daß der Strom aus dieſen Combinationen, welche man Erdbatterien genannt hat, ſehr ſchwach und jedenfalls zu ſchwach iſt, um für die Telegraphie mit Erfolg verwandt werden zu können.

Die ausgedehnteſte Anwendung von der Erdbatterie hat Steinheil auf der von ihm längs der Eiſenbahn von München nach Nanhofen im Jahre 1846 errichteten 108,000 Fuß langen Linie gemacht. Die Metallplatte in München iſt aus Kupferblech von 120 Quadratfuß Fläche, in Nanhofen ein Zinkblech von derſelben Größe; beide Platten ſind bis in das Horizontalwaſſer verſenkt und durch einen auf Stangen durch die Luft geleiteten Kupferdraht verbunden. Der durch dieſe Einrichtung erzeugte Strom iſt hinreichend ſtark, um die zur Controle der Bahn und der Fahrten nöthigen Zeichen hervorzubringen, indeſſen ſind die Steinheil'ſchen Zeichengeber höchſt einfach und erfordern zu ihrer Bewegung nur eine geringe Kraft. Zum Betriebe eines Morſe'ſchen oder eines Zeiger-Telegraphen fehlt es der Erdbatterie durchaus an Kraft.

Endlich wiederholen wir, was ſchon oben im Vorbeigehen erwähnt

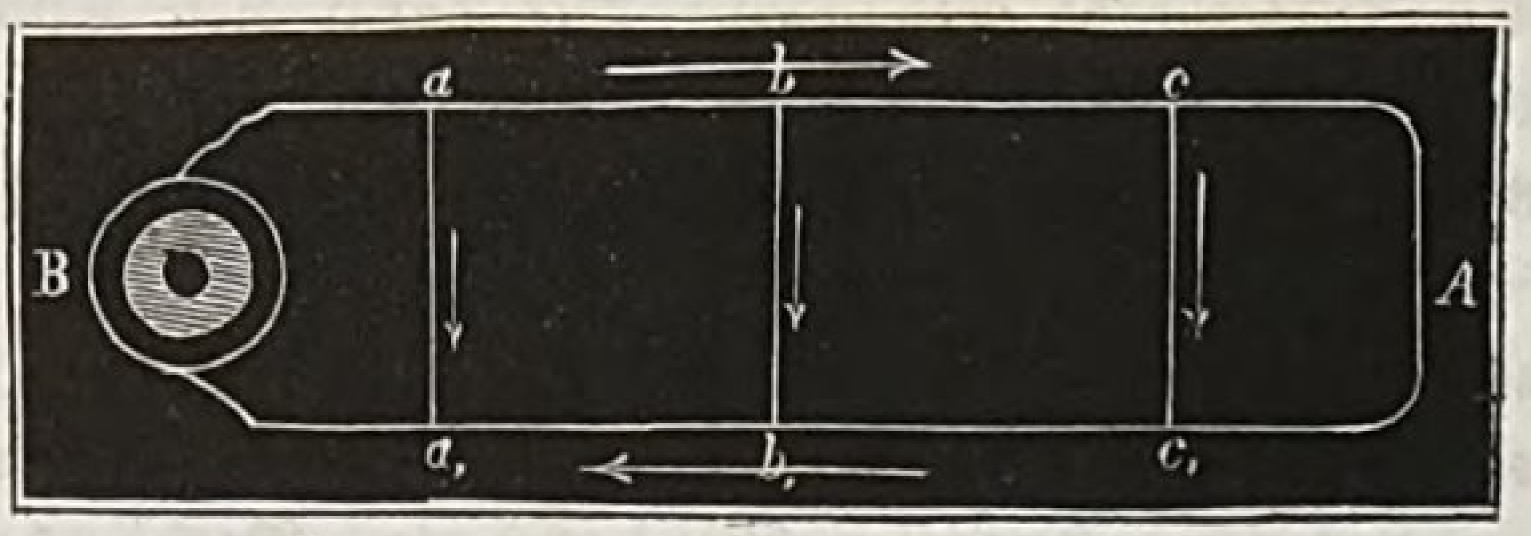
wurde, daß zuerſt Gauß und nach ihm Steinheil die Inductionsſtröme zum Zeichengeben angewandt haben, freilich nur für kurze Strecken. Die Inductorrolle von Gauß beſtand aus 7000 Fuß Kupferdraht, der Magnet von Steinheil aus 17 Hufeiſen von 60 Pfd. Gewicht und etwa 300 Pfd. Tragkraft, die Drahtſpiralen des Letztern hatten zuſammen 1500 Umwindungen. Einen weit ſtärkeren magneto-elektriſchen Apparat conſtruirte Dujardin in Lille (Lond. Journ. of arts. Juli 1848. p. 402.); derſelbe beſtand aus drei hufeiſenförmigen Magneten, jeder zu 7 Lamellen und 6 Drahtrollen mit 23 Kilogr. Kupferdraht, und lieferte einen Strom von hinreichender Stärke, um einen dem Morſe'ſchen ähnlichen Telegraphen zu regieren. Am vollendetſten ſind die magneto-elektriſchen Maſchinen, die gegenwärtig auf den ſächſiſchen und baieriſchen Eiſenbahn-Telegraphenlinien zum Betriebe der Stöhrer'ſchen Zeigerapparate angewandt werden. Schon 1846 verſuchte Stöhrer mit einem kleinen, aus 5 Lamellen zuſammengeſetzten Magnet von nur 5 Zoll Länge den Cooke'ſchen Nadeltelegraphen in Bewegung zu ſetzen, und fand, daß der Strom der kleinen, aber kräftigen Maſchine ſelbſt bei aufliegendem Anker ſtark genug war, um auf 8 Meilen zu telegraphiren.

Seit dem September des Jahres 1847 ſind nun die Stöhrer'ſchen Maſchinen fortwährend im Gebrauch, und fortgeſetzte Bemühungen nach dieſer Richtung hin laſſen erwarten, daß über lang oder kurz die eben ſo läſtigen als koſtſpieligen hydrogalvaniſchen Batterien durch die magneto-elektriſchen Maſchinen aus den telegraphiſchen Bureaus werden verdrängt werden.

231 **Die Leitung.** Eine gute Leitung iſt die erſte Bedingung für die Brauchbarkeit einer telegraphiſchen Linie; die meiſten Störungen, die gegenwärtig noch auf vielen, beſonders den längern Linien in den telegraphiſchen Apparaten ſo häufig eintreten, fallen den Mängeln der Leitung zur Laſt, die hauptſächlich darin beſtehen, daß die einzelnen Theile derſelben nicht vollſtändig von einander iſolirt ſind und zu Nebenſchließungen Veranlaſſung geben.

Bezeichnen z. B. *B* und *A* in der Fig. 213 zwei durch die Drähte *abc*, *a'b'c'* verbundene Stationen, und wird in *B* eine Batterie in

Fig. 213.



dieſe Drahleitung eingeſchaltet, um bei A telegraphiſche Zeichen hervorzubringen, ſo wird der Strom, wenn die Drahttheile $a, a' - b, b' - c, c'$ mit einander in leitender Verbindung ſtehen, keineswegs in ſeiner ganzen Stärke A erreichen, ſeine Intenſität nimmt vielmehr mit der Entfernung von B immer ab, und kann unter Umſtänden, wenn die Nebenſchließungen aa', bb' cc' gute Leiter ſind, in A ſogar Null ſein. Aus dieſem Grunde, da auch bei der ſorgfältigſten Ausführung der Drahtleitung nicht alle Nebenſchließungen zu vermeiden ſind, vertheilt man die Batterie B, welche zum Betriebe der auf zwei benachbarten Stationen aufgeſtellten Apparate erforderlich iſt, in zwei Hälften, und ſtellt dieſe auf jeder Station ſo auf, daß ſie ihren Strom in gleicher Richtung durch die Leitung ſenden, und ſich alſo gegenſeitig unterſtützen.

Eine möglichſt vollſtändige Iſolirung der Drahtleitung in allen ihren Theilen iſt daher das erſte Erforderniß bei der Anlage einer Telegraphenlinie. Die große Schwierigkeit, viele nahe neben einander laufende Drähte gehörig zu iſoliren, machte ſchon allein die früheſten telegraphiſchen Verſuche von Sömmering, Ampere, Vorßelmann de Heer, Cooke und Wheatſtone u. dgl. für längere Strecken unausführbar. Morſe, Cooke u. A. umwickelten die Drähte einzeln mit Baumwolle oder Kautſchuck, firnißten dieſe Hülle und ſpannten ſie in bleierne oder eiſerne Röhren ſo auf, daß ſie ſich nicht berührten, worauf dann die Röhren mit Harz ausgegoſſen wurden. Jakobi ſchloß die Drähte in gläſerne Röhren ein, die einzeln mit Kautſchuck verbunden waren und 21 Zoll tief in die Erde gelegt wurden. Die Drähte ſelbſt waren einzeln mit Zwirn, darauf mit einer aus Harz, Wachs und Talg beſtehenden Miſchung überzogen, dann nochmals überſponnen und abermals mit dieſer Miſchung überzogen. Dennoch zeigte ſich hierbei eine ſtarke Nebenſchließung.

Luft- oder Stangenleitung. Seit Steinheil's Entdeckung der Erdleitung wird bei den meiſten im Betrieb befindlichen Telegraphen nur ein einziger Draht als Leitung angewandt, und dieſer 232

a) entweder auf Stangen durch die Luft ausgeſpannt, oder

b) gehörig iſolirt unter der Erde weggeleitet.

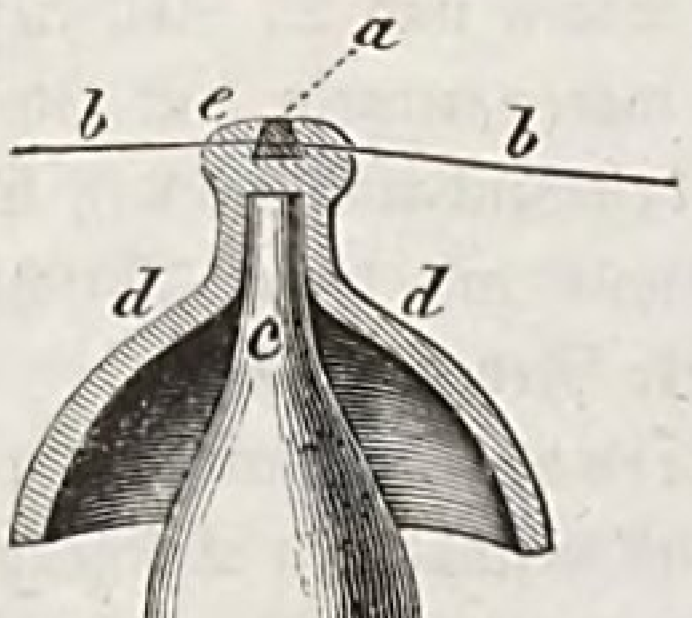
Weber legte die erſte aus zwei neben einander laufenden nicht überzogenen Drähten beſtehende Leitung auf eine Strecke von 6000 Fuß durch die Luft; 4 Jahre ſpäter ſpannte Steinheil ſeine zwei Drahtzüge auf eine Strecke von 15250 Fuß hoch durch die Luft aus, indem er ſie innerhalb der Stadt München in Abſtänden von 3 und 10 Fuß befeſtigte, über Strecken aber, wo keine hohen Gebäude vorhanden waren, durch 40 — 58 Fuß hohe Floßbäume unterſtützte. An den Auflegepunkten war nur Filz untergelegt, die Iſolation alſo höchſt unvollkommen.

Gegenwärtig, wo die Erde einen Theil der Leitung ausmacht, werden in Entfernungen von 100 — 120 Fuß, 10 — 15 Fuß hohe, gegen 4 Zoll dicke Stangen von trockenem Fichten- oder Lerchenholz feſt in die Erde eingegraben. Der Draht wird an der Stelle, wo er durch den oberen Theil der Stange hindurchgeht, mit einer iſolirenden Platte von Gutta-Percha umwickelt, durch einen hölzernen Pflock feſtgekeilt und durch ein kleines Zinkdach gegen den Regen geſchützt. Die Erfahrung hat jedoch nachgewieſen, daß auch dieſe Befeſtigungsweiſe nur mangelhaft iſolirt und daß insbeſondere bei anhaltend feuchter Witterung eine Ueberleitung des Stromes von den Stützpunkten an den Stangen herab zu dem Erdboden hin und umgekehrt ſtattfindet. Da gegen 240 ſolcher Stangen auf eine Meile kommen, ſo iſt der Stromverluſt, den eine ſo eingerichtete Leitung verurſacht, von Station zu Station ſehr bedeutend.

Breguet und Gounelle verſahen jede Stange mit einer Rolle von Biskuit-Porcellan, auf der die Drähte ruhten und durch einen Schirmdach geſchützt waren. Drähte und Stangen waren außerdem mit Marineleim überzogen.

Eine vorzüglich gute und jetzt durchgehends angewandte Iſolir-Methode für Drahtleitungen auf Stangen iſt folgende:

Fig. 214.



Die Tragſtangen *T* (Figur 214) ſind oben auf einem 1½ Zoll ſtarken, 6″ — 8″ langen Zapfen *c* abgeſpitzt und eine Porcellanglocke *d d* aufgekittet. Oben im Porcellankopfe iſt ein Einſchnitt *e*, in welchen der Draht *bb* gelegt und mit etwas Blei in der Mitte der Erweiterung *a* feſtgegoſſen wird. Die innere Fläche der Glocke bildet hierbei eine ſtets trocken bleibende und daher iſolirende Schichte zwiſchen der Stange *T* und dem Drahte *b b*. Auch bei dem ungünſtigſten Wetter haben ſich bei dieſen Leitungen die Nebenſchließungen an ſehr empfindlichen Halske'ſchen Multiplicatoren häufig gleich Null ergeben.

Bei der im Winter 1849 von Siemens ausgeführten, 42 Meilen langen Leitung zwiſchen Eiſenach und Frankfurt über Kaſſel wurden oben geſchloſſene Porcellantrichter auf eiſerne Stangen ſo aufgekittet, daß die Glocke nach unten gerichtet war. Die eiſerne Stange wurde an das obere Ende der hölzernen Pfoſten geſchraubt und der Draht an der äußeren Fläche des Trichters, durch Umwinden um den oberen dünnen Theil deſſelben, befeſtigt. Auch hier war die Iſolation ſehr vollſtändig.

Die Koſten einer ſolchen Leitung aus Kupfer kamen der preußiſchen Regierung pro Meile à 24,000 Fuß zu ſtehen:

An Draht 318½ Thlr., Stangen 110 Thlr., Eiſenſtützen für die Porcellanköpfe 45 Thlr., Porcellanköpfe 35 Thlr., Eingraben der Stangen 20 Thlr., zuſammen **528½ Thlr.**

Die Koſten einer Stangenleitung aus Eiſendraht ſtellen ſich, nach Kramer, pro Meile à 24,000 Fuß auf 250 Rthlr.

Unterirdiſche oder Gutta-Percha-Leitung. — Die vielen Män- 233
gel, an denen eine gut iſolirte Stangenleitung noch immer leidet und der Umſtand, daß, je vollſtändiger die Iſolation derſelben iſt, um ſo ſtörender die Einflüſſe der atmoſphäriſchen Elektricität auftreten, veranlaßten die Techniker vielfach, die bei Seite gelegten Verſuche mit unterirdiſchen Leitungen wieder aufzunehmen. Im Herbſte 1847 vollendete W. Siemens (deſſen Abhandl. über telegr. Leit. in Poggendorff's Annal., Bd. 79, S. 481) eine Verſuchslinie von 1 Meile Länge, auf welcher der Kupferdraht in der gegenwärtig ſehr bedeutenden Fabrik von Fonrobert und Pruckner in Berlin mit einer Hülle von gereinigter Gutta-Percha umpreßt war und 2 Fuß tief unter der Erde fortgeleitet wurde. Da es ſich zeigte, daß die reine und waſſerfreie Gutta-Percha in der feuchten Erde ſich nach und nach an ihrer Oberfläche in ein Hydrat umwandelte, ſo wurde bei ſämmtlich ſpäter angefertigten Drähten vulcaniſirte (mit Schwefel vermiſchte) Gutta-Percha in Anwendung gebracht und zugleich die Umpreſſung mittelſt einer durch Siemens und Halske angefertigten Maſchine auf eine ſehr vervollkommnete Weiſe (Dingler's Journ. Bd. 115, S. 260) bewerkſtelligt.

Die fertigen Drähte werden zuerſt durch die Arbeiter in Bezug auf Iſolirung geprüft und unterliegen nach Ausbeſſerung der ſchadhaften Stellen einer nochmaligen ſtrengen Prüfung durch ſehr empfindliche Galvanometer. Ein Fehler in der Iſolirung, welcher eine Nebenſchließung bewirkt, die auf die Meile Draht ¼ Procent, alſo nur $\frac{1}{400}$ des ganzen Stromes beträgt, wird von der preußiſchen Regierung nicht mehr acceptirt. Gegenwärtig darf bei neu angelegten Leitungen der Nebenſtrom bei am anderen Ende geöffneter, 10 Meilen langer Leitung nicht über 2½ Procent des bei geſchloſſener Kette vorhandenen Stromes betragen.

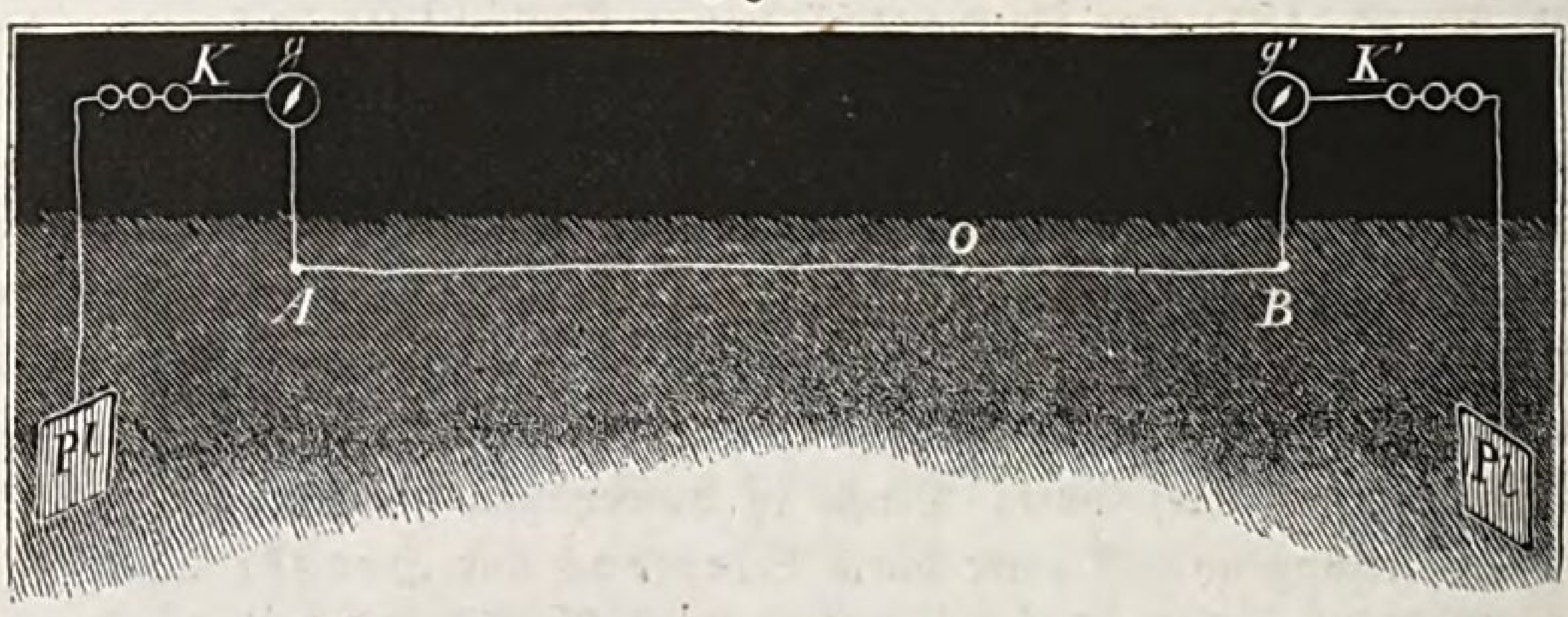
Das Einlegen des Drahtes geſchieht auf eine einfache Weiſe der Art, daß man ihn in einen, am Rande des Eiſenbahn-Plateaus hinlaufenden, zwei Fuß tiefen Graben loſe hineinlegt, mit einer Lage Sand bedeckt und bevor noch der Graben zugeworfen wird, in Bezug auf Iſolation einer Probe unterworfen wird. Die benachbarten Enden zweier Drahtadern werden blank geſchabt, zuſammengewunden, mit Zinn an einander gelöthet

und mit dünnen Platten der Gutta-Percha-Miſchung über Kohlenfeuer feſt überzogen.

Für das Auffinden eines einzelnen zwiſchen zwei Stationen auf irgend eine Weiſe entſtandenen Fehlers in der Leitung hat Siemens in der oben angeführten Abhandlung zwei Rechnungsmethoden angegeben, nach denen ſich die Fehlerſtelle ziemlich genau ergeben muß. Sind mehrere ſchadhafte Stellen vorhanden, was ſich ebenfalls durch dieſe Rechnung ergiebt, ſo erreicht man dieſelben durch fortgeſetztes Halbiren des Leitungsdrahtes und Prüfung der einzelnen Hälften in Bezug auf ihre Iſolation. Hat man auf dieſe Weiſe den Fehler innerhalb der Gränze von einigen Ruthen eingeſchloſſen, ſo bleibt nichts übrig, als den Draht bloß zu legen, wobei ſich der Fehler ergeben muß.

Es ſeien *A* und *B* Fig. 215 die Endpunkte der zu unterſuchenden Drahtleitung, *g* und *K* ein Galvanometer, und eine Säule, welche zwiſchen

Fig. 215.



A und der entſprechenden Erdplatte *Pl* eingeſchaltet iſt; eben ſo *g'* und *K'* ein Galvanometer und eine Säule zwiſchen *B* und *Pl* eingeſchaltet.

Die beſchädigte Stelle ſei bei *O*. Iſt nun der Leitungswiderſtand des Drahtes von *A* bis *O* gleich x, von *O* bis *B* gleich y; bezeichnet ferner m den reducirten Widerſtand der Drahtleitung zwiſchen *A* und *Pl* ſammt dem Widerſtand des Galvanometers g, der Säule *K* und dem Widerſtand der dieſe Platte umgebenden feuchten Schichten bis zur unendlichen Ausbreitung des Stromes, und endlich mit n die Summe der entſprechenden Widerſtände an der anderen Seite der Drahtleitung, ſo iſt die Stromſtärke, welche in dem Leitungsdraht kreiſen müßte, wenn bei *O* keine Beſchädigung ſtattfindet und die Leitung nirgends unterbrochen iſt,

$$s = \frac{2\,e}{x + y + m + n},$$

wenn e die elektromotoriſche Kraft einer Säule bezeichnet.

Unterbricht man die Leitung bei *B*, ſo wird man bei *A* gar keine Ab-

lenkung des Galvanometers beobachten, wenn zwiſchen A und B keine Beſchädigung vorhanden iſt; iſt aber eine ſolche vorhanden, ſo zeigt ſich eine Ablenkung, aus der ſich die Stromſtärke

$$s' = \frac{e}{m + x + z}$$

ergiebt, wenn z den Widerſtand des Ueberganges von der bloßgelegten Stelle des Drahtes zur Erde oder den Widerſtand der Nebenſchließung bezeichnet.

Eben ſo iſt

$$s'' = \frac{e}{n + y + z},$$

die durch das Galvanometer g' ermittelte Stromſtärke, wenn die Leitung bei O unterbrochen iſt.

Aus dieſen drei Gleichungen e und z eliminirt, giebt

$$\begin{aligned} & s \,.\, s'' (x + y + m + n) - 2\, s'\, s'' (m + x) \\ = \; & s\, s' (x + y + m + n) - 2\, s'\, s'' (n + y), \end{aligned}$$

woraus

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{2\, s' s'' - s s' + s s''}{2\, s' s'' - s s'' + s s'}.$$

Da die Summe $x + y$ gleich der Länge der Leitung, mithin bekannt iſt, ſo ergiebt ſich aus dieſer Gleichung ſofort die Lage der Beſchädigung.

Genauere Reſultate giebt ein anderer Weg der Berechnung der Lage einer Beſchädigung, bei welchem die Polariſation weit weniger ſtörend auftritt und welche unabhängig iſt von der elektromotoriſchen Kraft der Säule.

Es ſei die Bedeutung der Buchſtaben x, y, m, n und z die oben angegebene. Die Säule K' ſei durch einen Draht von gleichem Widerſtande erſetzt, ſo werden die beiden Galvanometer nicht gleiche Stromſtärke anzeigen, wenn ſich bei O eine Verletzung befindet, weil durch g' nur ein Theil des durch g gehenden Stromes hindurch geht. Es ſei nun s die bei A, s' die bei B gemeſſene Stromſtärke, ſo iſt

$$s' = \frac{z}{y + n + z} \cdot s,$$

woraus

$$\frac{s}{s'} = \frac{y + n + z}{z}$$

oder

$$\frac{s - s'}{s'} = \frac{y + n}{z} \quad . \;\; . \;\; . \;\; . \quad 1)$$

Iſt nun die Säule bei K' angebracht und K durch einen Draht von

gleichem Widerſtande erſetzt, ſo werden ſich bei B und A die Stromſtärken σ und σ' ergeben und man hat dem oberen entſprechend

$$\frac{\sigma - \sigma'}{\sigma'} = \frac{x + m}{z} \quad . \; . \; . \; . \quad 2)$$

die Gleichung 2) durch die Gleichung 1) dividirt, giebt

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{(\sigma - \sigma')\, s'}{(s - s')\, \sigma'},$$

wodurch die Lage der Beſchädigung beſtimmt iſt.

Hinſichtlich der mit m und n bezeichneten Conſtanten iſt noch zu erwähnen, daß dieſelben bei der hier in Betracht kommenden annähernden Beſtimmung der Lage der Beſchädigung einer ausgedehnten telegraphiſchen Leitung ohne große Beeinträchtigung der Genauigkeit ganz vernachläſſigt werden können, wenn man große im freien Waſſer liegende Platten, Säulen und Galvanometer von geringem Widerſtande anwendet. Bei Erdplatten, welche im feuchten Erdboden liegen, iſt der Widerſtand des Ueberganges der Elektricität von den Platten zum unbegränzten feuchten Leiter, als welche die Erde auftritt, natürlich unverhältnißmäßig viel größer, doch kann man alsdann, wenn man an beiden Enden gleiche und unter gleichen Verhältniſſen befindliche Platten hat, für jede ohne Nachtheil den halben gemeſſenen Erdwiderſtand annehmen.

Die Koſten der Gutta-Percha-Umpreſſung ſind gegenwärtig noch bedeutend und machen zur Zeit die unterirdiſche Leitung weit koſtſpieliger, als eine gleich lange Stangenleitung ſein würde. Die Kupferdrähte koſten 48½ Rthlr. pro Centner, 100 Fuß preuß. dürfen nicht weniger als 65 Loth wiegen. Hiernach wiegt der Draht für 1 Meile preuß. gegen 4½ Centner. Die Gutta-Percha-Hülle wiegt eben ſo viel als der Draht, das Eingraben der Drähte koſtet durchſchnittlich 200 Thlr. pro Meile, ſo daß die Meile der unterirdiſchen Leitung zu ſtehen kommt: an Draht 4½ Centner à 49 Rthlr. = 220 Thlr., an Gutta-Percha-Ueberzug 720 Rthlr., an Arbeitslohn 200 Rthlr., zuſammen **1140 Thlr.**

234 **Die Erdleitung.** Der Antheil, den die bei telegraphiſchen Linien einen Theil der Leitung ausmachende Erdſchichte an der geſammten Leitung und dem dadurch entſtehenden Widerſtande hat, iſt bis jetzt noch nicht genügend ermittelt worden. Die Verſuche, welche Breguet (Compt. rend. XXI. 760) auf der aus zwei Kupferdrähten, einem Eiſendrahte und Erdplatten beſtehenden Linie zwiſchen Paris und Rouen angeſtellt hat und die ſo angeordnet waren, daß der Strom derſelben Batterie bald die beiden Kupferdrähte, bald den einen Kupferdraht und die Erde, bald auch den Eiſendraht und die Erde durchlaufen mußte, ergaben das Reſultat,

daß der Widerſtand der Erde ſo gering ſei, daß er gegen den des Leitungsdrahtes faſt ganz vernachläſſigt werden könne und daß demzufolge die Intenſität eines aus derſelben Batterie erzeugten Stromes beinahe doppelt ſo groß ſei, wenn er zur Hälfte durch den Draht, zur Hälfte durch die Erde geleitet wird, als wenn er zwei Drähte durchlaufen muß. Es war u. a. die Intenſität des Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde zu Paris 56,8, geleitet durch zwei Kupferdrähte nur 29,1; zu Rouen betrug die Intenſität deſſelben Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde 35,1, geleitet durch zwei Kupferdrähte 17,8. Ein ähnliches Ergebniß ſtellte ſich bei den übrigen 27 Verſuchen heraus.

Mateucci (Compt. rend. XIX. 845) ſtellte bei Anweſenheit der italieniſchen Naturforſcher in Mailand Verſuche über denſelben Gegenſtand an; er leitete nach einander den Strom aus derſelben Batterie durch 12,500 Meter Draht in der Luft, dann durch 12,500 Meter Draht in der Luft und 12,500 Meter Erde, endlich durch 25,000 Meter Draht in der Luft und fand das Intenſitäts-Verhältniß 30 : 27 : 17. Hiernach iſt die Intenſität eines durch die Erde geleiteten Stromes zwar bedeutend ſtärker, als wenn die ganze Leitung aus Draht beſteht, allein ſie iſt keineswegs das Doppelte und der Leitungswiderſtand der Erde iſt gegen den im Drahte nicht als verſchwindend anzuſehen.

Es iſt nur zu bedauern, daß weder die Verſuche von Breguet noch von Mateucci mit derjenigen Sorgfalt und Umſicht angeſtellt worden ſind, welche eine ſolche Unterſuchung erfordert; die Richtigkeit der vorſtehenden Reſultate iſt auch mehrfach angefochten worden und ſie berechtigen nur zu dem ſummariſchen Schluſſe, daß die Intenſität des Stromes bei Anwendung der Erdleitung viel größer iſt, als bei einer doppelten Drahtleitung, oder daß der Widerſtand des feuchten Erdreichs von unbekanntem Querſchnitte viel kleiner iſt, als der eines gleich langen Kupferdrahtes von der bei den Telegraphenlinien üblichen Dicke.

Baumgartner (Pogg. Bd. 80, S. 374 und S. 381) hat es verſucht, durch die Benutzung der zwiſchen Wien und Gänſerndorf (14,800 Klft.) vorhandenen doppelten Drahtleitung die Größe des Leitungswiderſtandes der Erde numeriſch zu beſtimmen. Er ſchaltete in die Drahtleitung, welche mit dem einen Ende in Wien, mit dem anderen in Gänſerndorf in die Erde verſenkt iſt, ein kleines Zink-Platin-Element und eine ſehr empfindliche Sinusbouſſole ein und beobachtete unter den bekannten Vorſichtsmaßregeln die Größe des Ablenkungswinkels. Hierauf ließ er ſowohl in Wien, als in Gänſerndorf die Verbindung des Drahtes mit den Erdplatten aufheben und ſeine Enden mit dem zweiten Drahte verbinden, und beobachtete auch in dieſem Falle, wo der Strom durch zwei Drähte

geleitet wurde, den Ablenkungswinkel. Bei drei hinter einander angeſtellten Verſuchen ergaben ſich folgende Ablenkungen:

	1. Verſuch.	2. Verſuch.	3. Verſuch.	Durchſchnitt.
1) Als der Strom im Drahte hin- und herging	20°	22°	19½°	20° 30′
2) Als der Strom im Drahte hin- und durch die Erde zurück ging.	33°	32½°	31°	32° 10′

Aus dieſer Beobachtung ergiebt ſich durch eine leichte Rechnung, daß der Leitungswiderſtand eines Kupferdrahtes von der Länge = 1 und 1‴ Dicke, **3,14mal** größer iſt, als der eines gleich langen vom Strome durchfloſſenen Theiles des Erdkörpers von unbekanntem Querſchnitt. Aber auch dieſes Reſultat hat keinen Anſpruch auf Genauigkeit, und in ſpäteren Verſuchen, die derſelbe Gelehrte auf den weit größeren Strecken zwiſchen Wien und Gloggnitz (faſt 11 Meilen), ſo wie zwiſchen Wien und Gratz (28 Meil.) in der eben beſchriebenen Weiſe angeſtellt hat, ergeben ſich für dieſelben Werthe die Zahlen:

a) auf der Wien-Gloggnitzer Strecke 6,98,

b) auf der Wien-Gratzer Strecke 4,70.

Hiernach ſcheint der Leitungswiderſtand des Erdreichs, der im Verhältniſſe zu dem des Kupferdrahtes keineswegs verſchwindend klein iſt, nicht von der Entfernung der Stationen allein, ſondern auch von der geognoſtiſchen Beſchaffenheit der zwiſchen den Erdplatten befindlichen Erdſchichten abhängig zu ſein. Uebrigens iſt bei allen vorgenannten Verſuchen der Antheil, den die an den Erdplatten auftretende galvaniſche Polariſation an der Schwächung des Stromes hat, ganz unberückſichtigt geblieben.

Die auffallende Erſcheinung der Erdleitung und beſonders die Reſultate der franzöſiſchen Phyſiker, daß der Widerſtand der Erde für große Strecken beinahe gleich Null ſei, haben zu noch auffallenderen Anſichten über die Rolle, welche die Erde bei dieſen Vorgängen ſpiele, Raum gegeben.

Arago (Compt. rend. XX. 1604) überreichte der Akademie ein Schreiben von de Teſſan, Guillemin und de Girard, worin dieſe die Anſicht aufſtellen, daß die Erde nicht als Leiter, ſondern als großes Reſervoir auftrete, welches die an den Erdplatten frei werdenden Elektricitäten in ſich aufnehme und bewirke, daß ſich dieſelben in ihrem weiten

Schooße verloren. Am meiſten hat **Abbe Moigno** (tr. de tel. el. 1849. p. 211) dieſe Anſicht zu begründen geſucht, wobei er ſich auf die Autorität von **Gauß** ſtützt, welcher ebenfalls annahm, daß, wenn die Enden eines einzigen Drahtes, anſtatt ſich in der Erde auszubreiten, an zwei ganz iſolirte Himmelskörper, die ein ähnliches elektriſches Verhalten zeigten wie unſere Erde, befeſtigt würden, ein Strom dieſen Draht durchlaufen würde, und zwar mit einer doppelt ſo großen Intenſität, als wenn er ſich durch zwei zwiſchen ihnen ausgeſpannten Drähten bewegte.

Mateucci ſuchte der Sache auf den Grund zu kommen und brachte faſt in gerader Linie 4 Brunnen an, von denen die beiden **äußeren** 160 Meter von einander entfernt und durch einen Kupferdraht mit eingeſchalteter Batterie verbunden waren; die Entfernung der beiden **inneren** Brunnen von einander betrug 30 Meter, und von den äußeren Brunnen 80 und 50 Meter. Die Enden eines empfindlichen Galvanometers tauchten in die beiden mittleren Brunnen. Sobald die Batterie geſchloſſen wurde, zeigte ſich ſofort eine Ablenkung der Nadel im Galvanometer um 35° bis 40°. Wurde die Richtung des Stromes umgekehrt, ſo wurde auch die Nadel im entgegengeſetzten Sinne abgelenkt.

Ein ähnliches Experiment war ſchon früher von **Steinheil** (deſſen Vorleſung über Telegr., München 1838) mit gleichem Erfolge angeſtellt worden.

Dieſe Verſuche, wenn ſie auch nicht die vorliegende Frage erſchöpfend erledigen und weit beſſer und mannichfaltiger hätten angeſtellt ſein können, zeigen doch unzweideutig, daß wenigſtens für den Fall, wo die Entfernung der Erdplatten nicht ſehr bedeutend iſt, die Erde als **Leiter**, nicht als Reſervoir, auftritt. Was hindert uns nun, dieſe Annahme auch auf den Fall der größeren Entfernung auszudehnen? —

Störungen durch die atmoſphäriſche Elektricität. — Telegraphiſche Blitzableiter. 235 Einer der ſchlimmſten Feinde der elektriſchen Telegraphen, wenigſtens bei gut iſolirten oberirdiſchen Leitungen, iſt die atmoſphäriſche Elektricität. Eine längere oberirdiſche Leitung wird faſt in jedem Sommer einmal vom Blitz getroffen, der dann die Tragpfoſten, zuweilen auch einen Theil des Drahtes und die Inſtrumente zerſtört oder beſchädigt.

Henry (Dingl. Journ. Bd. 104, S. 265) hat die wichtigſten Erſcheinungen dieſer Art auf vier Hauptquellen zrückgeführt:

Erſtens kann der Draht, der nach **Steinheil's** Ausdrucksweiſe einen Blitzableiter von coloſſalen Dimenſionen bildet, aus denſelben Urſachen von einem Blitzſchlage getroffen werden, aus denen hoch und vereinzelt liegende metalliſche Körper dem Blitze ſo ſehr ausgeſetzt ſind.

Zweitens kann auch ohne Vorhandenſein einer Gewitterwolke durch die Verſchiedenheit des elektriſchen Zuſtandes der Atmoſphäre an zwei verſchiedenen, weit von einander entfernten Stellen der telegraphiſchen Linie ein dauernder galvaniſcher Strom in dem Drahte entſtehen.

Sowohl Henry, als auch Baumgartner (Pogg. Ann. 1849. Nro. 1. S. 135) und Siemens (Pogg. Ann. Bd. 79, S. 484) haben vielfach beobachtet, daß ein in die Leitung ohne Batterie eingeſchaltetes Galvanometer faſt zu jeder Zeit ziemlich heftige Ströme von veränderlicher Stärke und Richtung anzeigt, die z. B. auf der Linie von Eiſenach nach Kaſſel im Sommer, während der Mittagszeit ſo heftig und veränderlich werden, daß der Dienſt auf mehrere Stunden unterbrochen wird. Sind die beiden Enden des Drahtes iſolirt, ſo zeigt er immer eine beträchtliche Ladung freier Elektricität, die um ſo ſtärker werden kann, wenn an dem einen Ende Regen oder Schnee fällt, während am anderen Ende die Luft heiter bleibt. In gebirgigen Gegenden iſt dieſe Art Luftelektricität ganz beſonders eine ſtarke Quelle von Störungen für den Telegraphen.

Drittens kann die natürliche Elektricität des Drahtes durch die Induction einer entfernten Wolke geſtört werden. Auf längeren Linien hört in den Sommermonaten in der Regel der übereinſtimmende Gang der correſpondirenden Apparate ſchon auf, wenn ſich Gewitterwolken am Himmel zeigen, und Baumgartner bemerkt, daß der Indicator-Zeiger (am Nadelapparate) bleibend abgelenkt wird, wenn ſelbſt in bedeutender Entfernung Gewitterwolken an der Telegraphenlinie vorbeizogen.

Viertens werden kräftige Ströme in dem Leitungsdrahte durch die Einwirkung dynamiſcher Induction von jedem Blitzſtrahle erzeugt, der im Umkreiſe von vielen Meilen der Linie ſtattfindet. Es iſt dieſes Phänomen daſſelbe, was man ſonſt auch wohl mit dem Namen des Rückſchlages bezeichnet; es äußert ſich meiſtens ſehr lebhaft, ja in den öſterreichiſchen Nadelapparaten zuweilen bis zur Umkehrung der Nadelpolarität. Oft, wenn das Gewitter ſchon mehrere Meilen weit von der Drahtleitung entfernt iſt, zeigt ſich in den Galvanometern oder auch an den Elektromagneten der Zeichengeber bei jedem Blitzſchlage ein ſehr heftiger Strom.

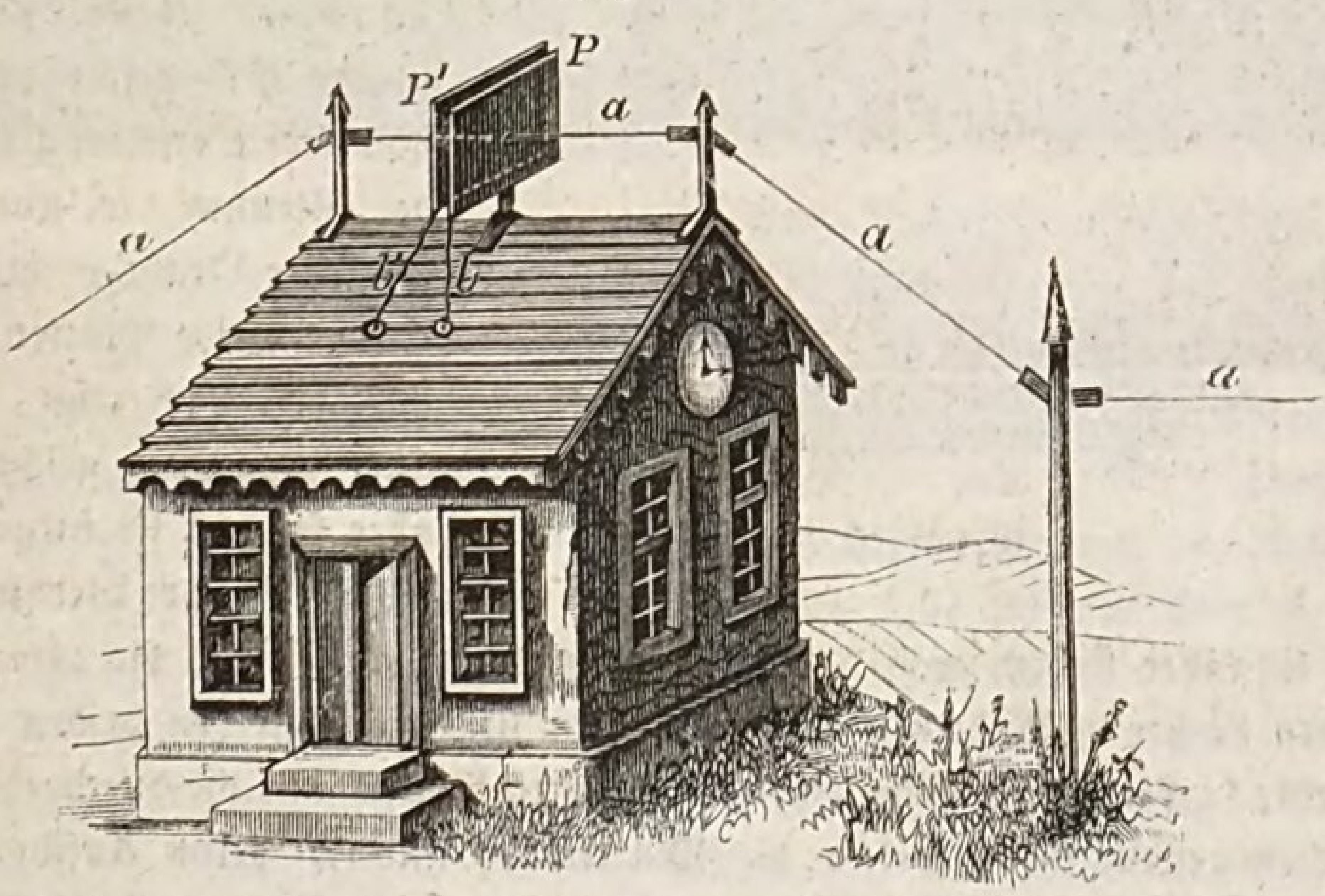
Alle dieſe Erſcheinungen, mit alleiniger Ausnahme der durch Induction hervorgebrachten, treten bei den Stangenleitungen bei weitem häufiger und ſtärker auf, als bei den unterirdiſchen; daher auch die Anwendung der letzteren Art von Leitungen das beſte Mittel iſt zu ihrer Beſeitigung. Gegen die Einflüſſe der inducirten Elektricität ſchützt auch die unterirdiſche Leitung nicht, wie die Erfahrung auf dieſer Art von Linien jeden Sommer reichlich lehrt.

Steinheil ſcheint zuerſt den Gedanken, die Zeichengeber der Luftelektricität zu entziehen, zur Ausführung gebracht zu haben. Er beob-

achtete, daß der in den Drahtrollen überſpringende Funke lieber die kleine Schlagweite von Windung zu Windung wählt, als den Umweg durch den Draht zu machen, während im Gegentheil der Strom eher eine continuirliche Kette von vielen hundert Meilen durchläuft, als daß er auf ganz kurzem Wege den Kreislauf mittelſt Ueberſpringens über eine in der Leitung befindliche, noch ſo kleine Unterbrechung vollende.

Hiernach richtete Steinheil im Jahre 1846 auf der München-Nanhofener Linie ſeine Blitzableiter ſo ein, daß der Leitungsdraht *aa* (Fig. 216) über dem Stationshauſe durchſchnitten und ſeine Enden an zwei bloß durch

Fig. 216.



ein feines Seidenzeug getrennte Kupferplatten *P, P'* angelöthet wurde. Zwei feine Drähte *b, b'* führten von dieſen Platten zu dem Telegraphen-Apparate. Die atmoſphäriſche Elektricität nahm in dieſem Falle den kürzeſten Weg von *P* zu *P'* durch Ueberſpringen und würde im ungünſtigſten Falle die feinen Drähte *b, b'* abgeſchmolzen haben, bevor ſie zu dem Zeichengeber gelangte, während der galvaniſche Strom nur auf dem Wege *a a P b — b' P' a* oder umgekehrt circuliren konnte, und daher allemal die Zeichengeber berühren mußte. — Seit der Einführung dieſer Ableiter wurde auf der genannten Linie ſelbſt bei den heftigſten Gewittern in den Drahtrollen kein Kniſtern noch Funkenſprühen mehr bemerkt.

Breguet (Compt. rend. Bd. 24, S. 21) und Fardely (Dingl. Jour. Bd. 109, S. 113) haben ähnliche Vorrichtungen zur Ausführung gebracht; am vollendetſten jedoch ſind die vom Profeſſor Meißner in Braunſchweig auf der dortigen Telegraphenlinie ausgeführten Schutz-

platten, die in Fig. 217 und 218 abgebildet ſind. Der Leitungsdraht L wird im Stationsgebäude auf eine 18″ lange, 14″ breite, $^2/_8$″ dicke Kupferplatte A geleitet und feſtgeſchraubt. Von A führt ein iſolirter dünner Draht l nach dem Telegraphen, von welchem ein anderer feiner Draht durch die Batterie führt und bei E an eine zweite Kupferplatte BB geſchraubt iſt, von dieſer endlich geht von der Klemme a aus ein ſtärkerer Draht e nach der Erde. Beide Platten ſind, wie Fig. 218 zeigt, zwar auf einander geſchraubt, aber ſo, daß ſie nirgendwo in metalliſcher Verbindung unter einander ſtehen, was dadurch erreicht wird, daß durch die correſpondirenden Löcher n Röhrchen aus Elfenbein und zwiſchen den beiden Platten kleine $^1/_8$ Linie dicke Scheibchen aus Gutta-Percha auf die durchgehenden Röhrchen geſtellt ſind, welche die Platten A und B beim Anſchrauben auseinander halten. Das Brett, auf welchem die Platten ſich befinden, wird an der Wand befeſtigt.

Fig. 217.

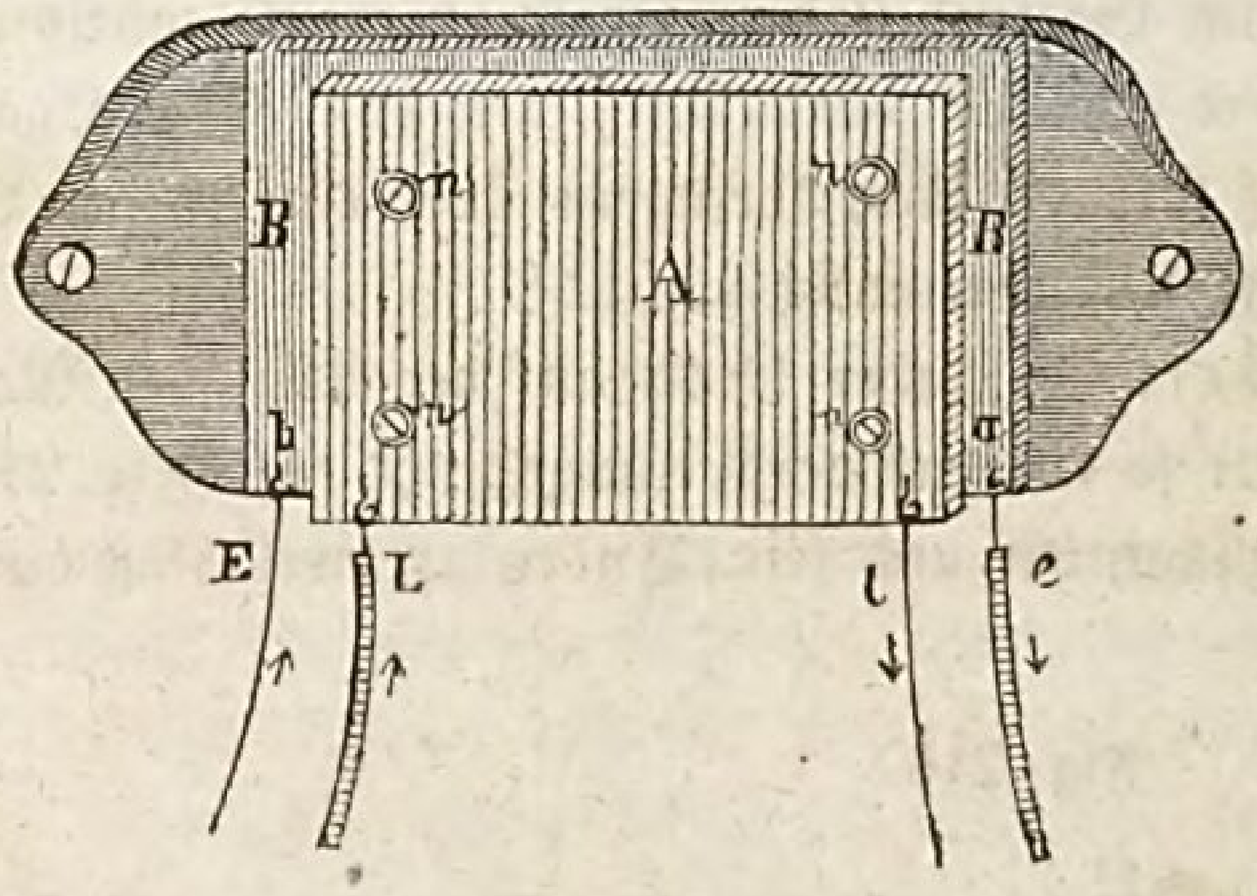
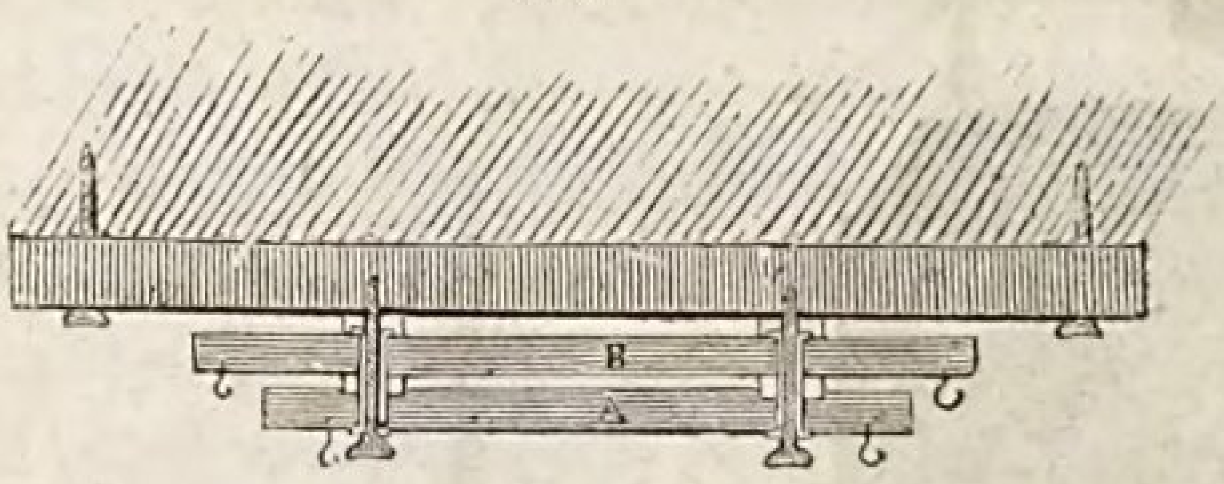


Fig 218.



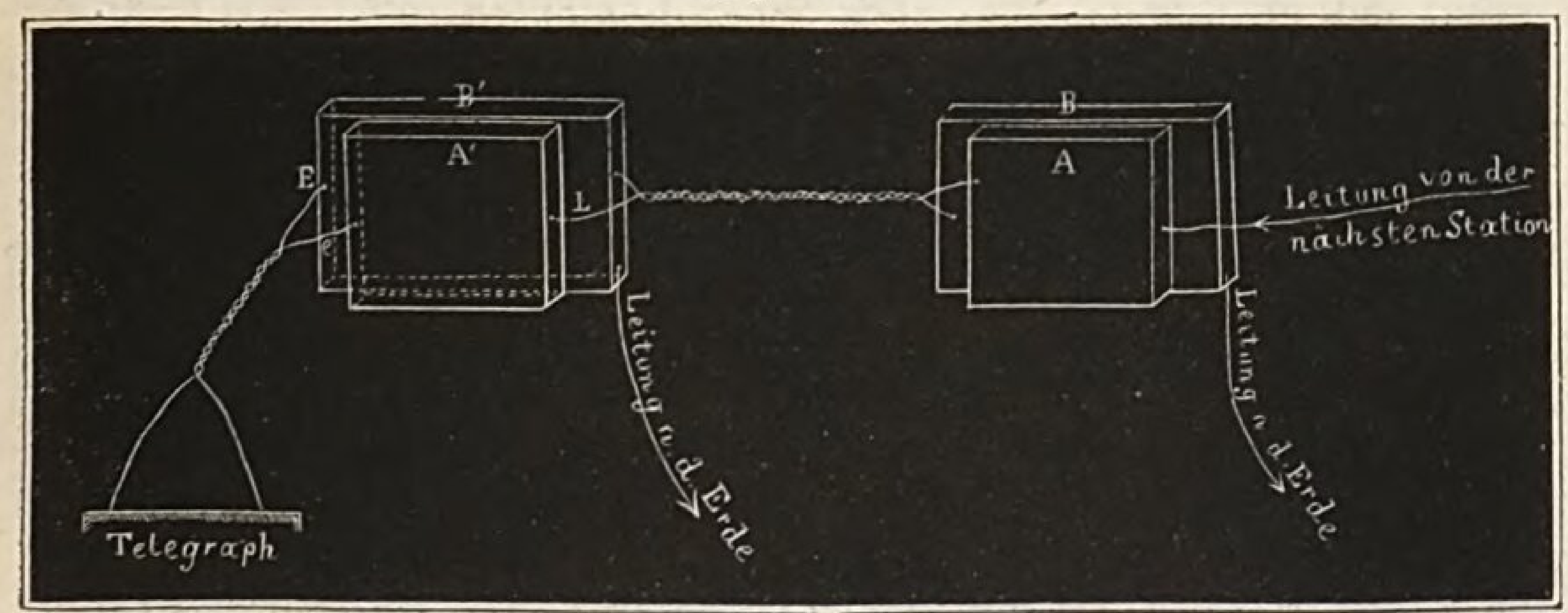
Grundriß.

Das galvaniſche Fluidum, durch L von der entfernten Station kommend, gelangt hierbei zunächſt auf A, von da durch l zu dem Telegraphen und der Batterie, von da durch E auf B und endlich von hier durch e in die Erdplatte und durch die Erde zur andern Station zurück. Sobald ſich aber in dem Leitungsdraht eine gewiſſe Menge atmoſphäriſcher Elektricität anſammelt, ſtrömt dieſe ebenfalls zunächſt auf die Platte A und wählt durch Ueberſpringen auf B den nächſten Weg zur Erde, anſtatt den größern Weg durch die Umwickelungsdrähte der Elektromagnete zu nehmen.

Vielfache Beobachtungen haben ergeben, daß durch Anwendung ſolcher Blitzableiter die telegraphiſche Correſpondenz, ſelbſt bei heftigen Gewittern, unterhalten werden kann; während ununterbrochen die Funken von der Platte A nach B überſprühen, kann die Correſpondenz mit den Zeigerapparaten ungeſtört vor ſich gehen. Zu noch größerer Sicherheit werden zwei

ſolcher Schutzplatten=Vorrichtungen in die Leitung eingeſchaltet in der Art, wie Fig. 219 zeigt

Fig. 219.



Das galvaniſche Fluidum nimmt dann die Richtung von der entfernten Station zu A, durch einen feinen Draht zu A', durch den Telegraph zu B', von hier theils ſchon direct, theils noch weiter über B in die Erde u. ſ. w., während die atmoſphäriſche Elektricität zum größten Theile ſich ſchon durch Ueberſpringen von A auf B in die Erde verliert, der Reſt aber nach A' gelangend von hier auf B' überſpringt und ſich von dort ebenfalls in die Erde ergießt, ohne den Telegraphen zu berühren.

Man begnügt ſich indeſſen keineswegs damit, die Apparate in den Stationsgebäuden gegen die Wirkung der Luftelektricität zu ſichern, ſondern man ſtellt in geeigneten Abſtänden, beſonders in der Nähe der Endpunkte der Leitung, Metallſtücke, die durch das Schirmdach oder unter der Höhlung des Porzellantrichters gegen Näſſe geſchützt ſind, einander ſehr nahe gegenüber. Das eine dieſer Stücke wird mit dem Erdboden, das andere mit dem Drahte leitend verbunden; die atmoſphäriſche Elektricität des Drahtes wird dadurch von dem einen Metallſtück auf das andere überſpringen und der größte Theil derſelben verliert ſich auf dieſe Weiſe in die Erde, ehe ſie die Endpunkte der Leitung erreicht.

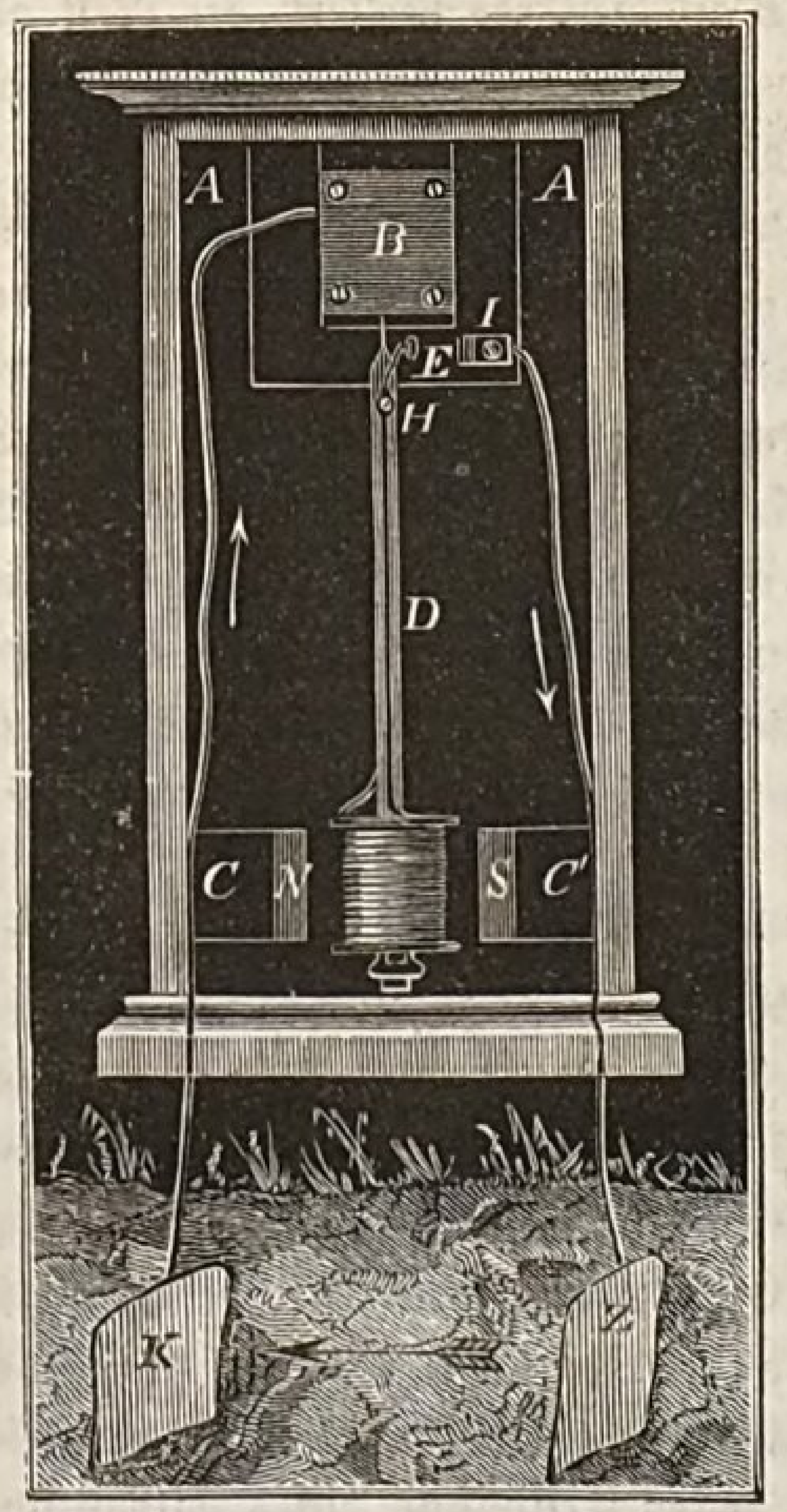
Die galvaniſchen Uhren. Schon im Jahre 1839 brachte Stein= 236
heil an den im Königl. Inſtitut für junge Damen zu München befindlichen Uhren die Vorrichtung an, daß die Uebereinſtimmung ſämmtlicher, durch einen Leitungsdraht mit der Normaluhr verbundener Uhren in regelmäßigen Zwiſchenräumen, z. B. am Ende einer jeden Stunde, hergeſtellt wurde. Ein Jahr ſpäter nahm Wheatſtone ein Patent auf eine ſeinem Zeigertelegraphen ganz nachgebildete galvaniſche Uhr, während faſt gleichzeitig Bain auftrat, um die Ehre der erſten Erfindung einer galvaniſchen

Uhr für ſich in Anſpruch zu nehmen. Seitdem haben ſich insbeſondere Wadham, Pernell, Weare, Fardely, Gläſener, Breguet, Garnier, endlich in der allerneueſten Zeit Stöhrer mit der Verbeſſerung und Vervollkommnung dieſer Apparate beſchäftigt.

Man kann ſämmtliche galvaniſche Uhren in zwei Klaſſen theilen: entweder wird die galvaniſche oder die elektro-magnetiſche Kraft dazu verwandt, in einer gewöhnlichen Uhr das Gewichtwerk zu erſetzen, alſo ein Pendel oder eine Unruhe, ohne irgend eine Feder- oder Gewichtkraft in lange anhaltende Bewegung zu verſetzen, oder die Uhren ſind bloß Zeittelegraphen, in denen eine durch Gewicht- oder Federkraft im Gange erhaltene Normaluhr ihre Zeit auf entfernt ſtehende und durch einen Leitungsdraht mit ihr verbundene ſecundäre Apparate überträgt.

Als Repräſentant der erſtern Art von Uhren, die keine weſentlichen Vorzüge vor den gewöhnlichen Gewicht- oder Federuhren darbieten, wählen wir das Pendel von Bain. In Fig. 220 bezeichnet *B* eine auf der Holzplatte *A* befeſtigte Kupferplatte, an welcher das Pendel *D* aufgehängt iſt. Von dem untern Ende der Aufhängefeder läuft ein gut iſolirter feiner Kupferdraht an der Pendelſtange herab, windet ſich auf einer Holzſpuhle zu einer Spirale, welche die Stelle der Linſe vertritt, und endigt an dem obern Theile der Pendelſtange an der Feder *H*, mit welcher er in metalliſcher Berührung ſteht. Dieſe Feder trägt ein Platinknöpfchen *E*, welches dem Kupferplättchen *I* gegenüberſteht und mit ihm in Berührung tritt, wenn die Spirale gegen *S* angelehnt wird.

Fig. 220.

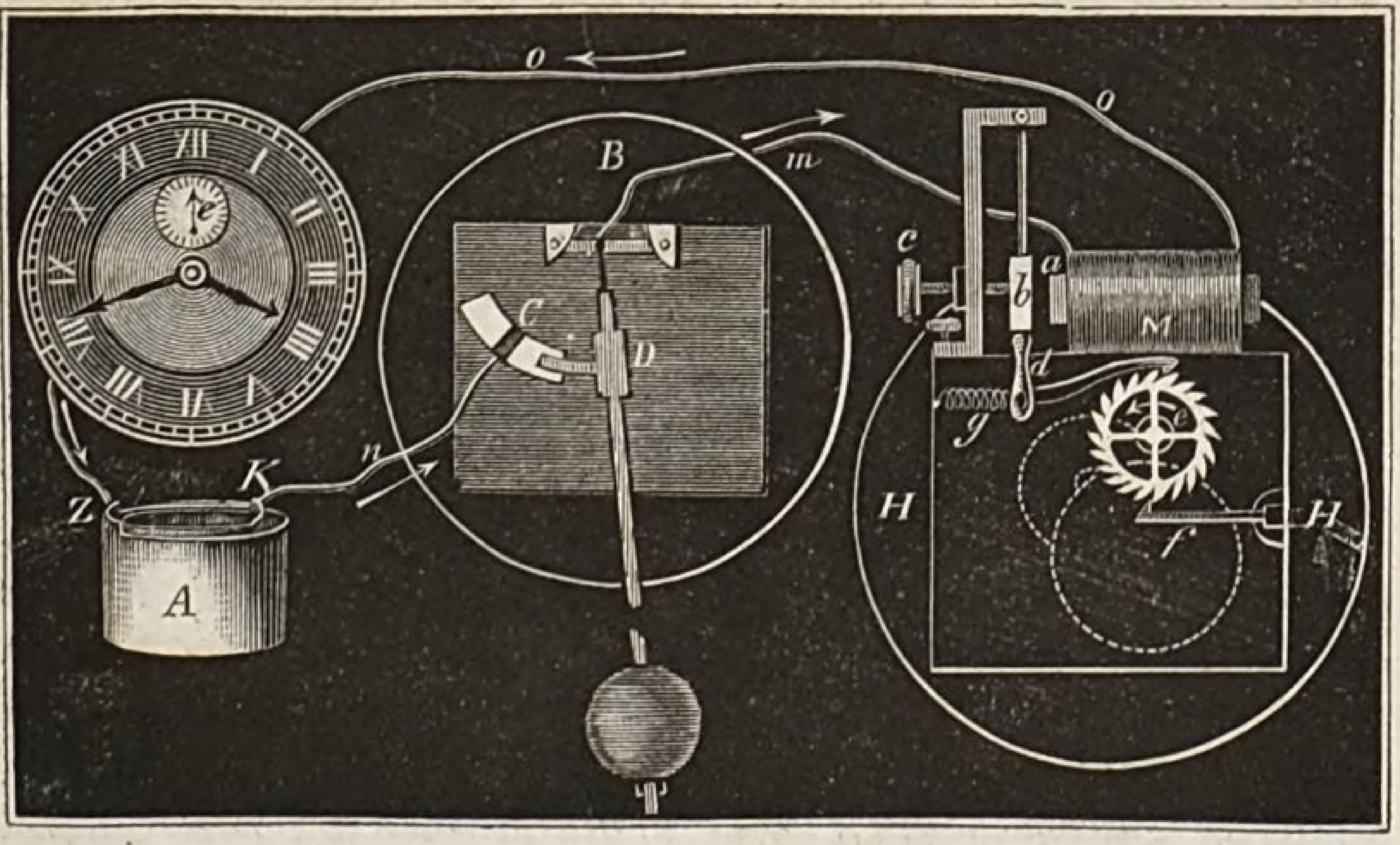


C, *C′* ſind zwei Stahlmagnete, *N* ein Nord-, *S* ein Südpol. Bain ſetzte das Pendel durch eine Erdbatterie in Bewegung; er grub eine Kupferplatte *K* und eine Zinkplatte *Z* in den feuchten Erdboden ein und erhielt einen Strom, ſtark genug, um die Uhr im Gange zu erhalten. Der Strom verfolgt nämlich, ſobald man zuerſt die Spirale gegen *S* annähert und dadurch *E* mit *I* in Berührung bringt, die Richtung der Pfeile von *K* zu *B* und durch die

Aufhängefeder zu der Spirale, dann über H, E und I zu Z. Die Art der Windungen um die Spuhle iſt nun von der Art, daß die Spirale von S abgeſtoßen, von N aber angezogen wird. Das Pendel ſchwingt alſo nach der Linken, wodurch der Strom wegen der Trennung der Contactſtücke E und I unterbrochen iſt. Beim Zurückſchwingen nach der Rechten kommt aber E wieder mit I in Berührung und das Pendel erhält dadurch einen neuen Impuls nach der Rechten. So dauert die Bewegung, die nun durch Räder auf die Zeiger übertragen wird, ununterbrochen fort, ſo lange das Element $K\,Z$ in ſeiner Kraft aushält.

Als Repräſentant der zweiten Klaſſe von elektriſchen Uhren möge wieder das Syſtem von Bain dienen, welches in Fig. 221 abgebildet iſt.

Fig. 221.

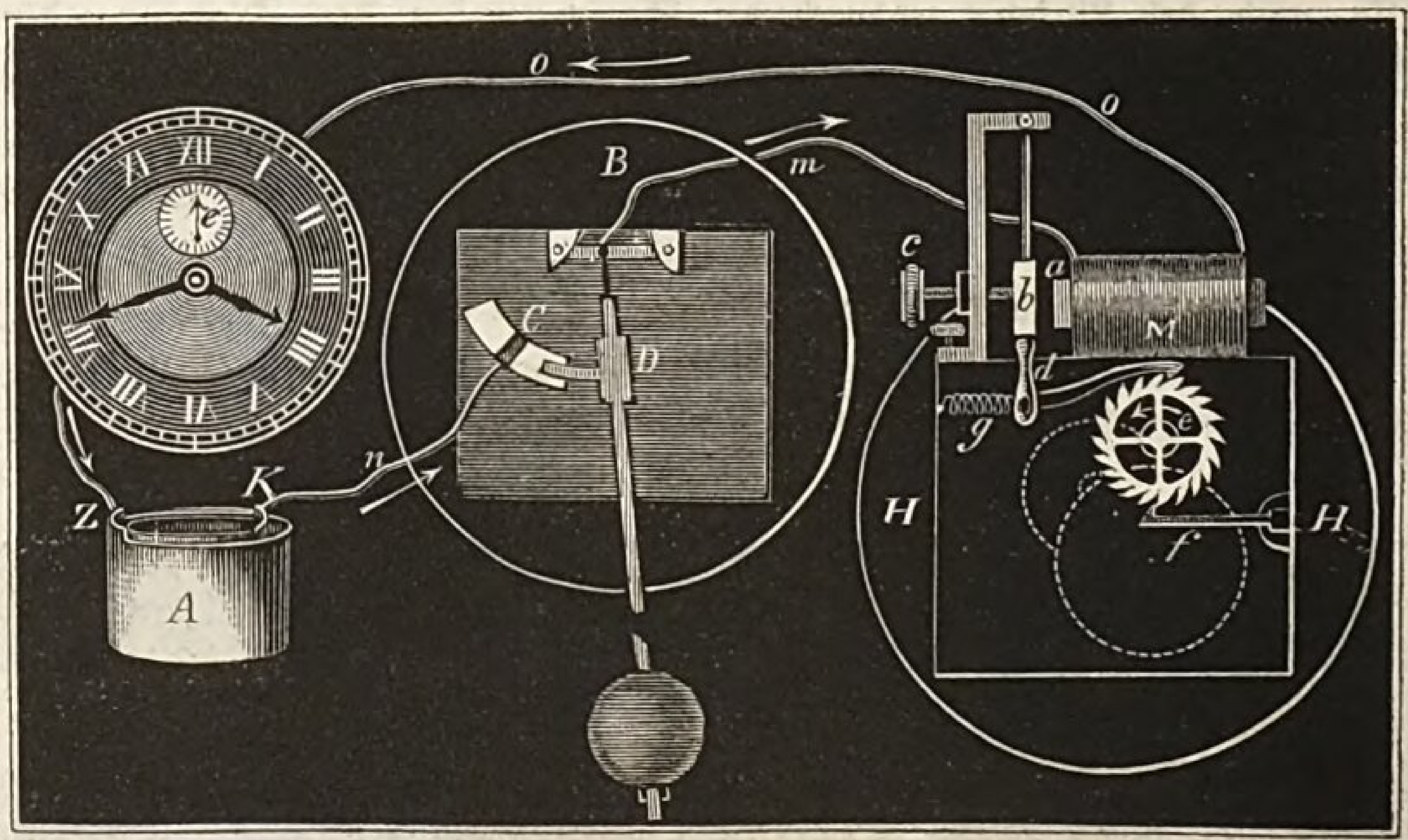


B bezeichnet die hintere Seite der Normal-Uhr, deren Pendel halbe Secunden ſchlägt. C iſt ein Elfenbeinſtreifen, der durch ein eingelegtes Kupferſtück in zwei Theile getheilt iſt. Auf der Pendelſtange ſitzt die Metallfeder D, welche bei der Bewegung des Pendels über den Elfenbeinſtreifen C gleitet und bei der äußerſten Lage des Pendels mit dem eingelegten Metallſtück in Contact zu ſtehen kommt; letzteres iſt durch einen Draht n mit dem poſitiven Pol K der Batterie A verbunden.

Von der Aufhängefeder des Pendels, die mit D in metalliſchem Contacte ſteht, geht ein Draht m nach dem Elektromagneten M der erſten galvaniſchen oder ſecundären Uhr HH; das Ende des Umwindungsdrahtes von M iſt mit dem nach der zweiten Uhr hinlaufenden Leitungsdrahte oo verbunden, der in gleicher Weiſe mit dem Elektromagneten dieſer Uhr ver-

bunden iſt, wie m mit M; von der letzten galvaniſchen Uhr geht das Ende des Umwindungsdrahtes ihres Elektromagneten zu dem negativen Pole Z

Fig. 222



der Batterie A. Es befinden ſich demnach die Elektromagnete ſämmtlicher ſecundärer Apparate in derſelben Leitung und alle ſind gleichzeitig vom Strome der Batterie afficirt, ſobald durch den Contact der Feder D mit dem Metall C die Batterie geſchloſſen wird; die bezeichneten Pfeile bezeichnen die Richtung des Stromes.

HH bezeichnet die innere Einrichtung einer ſecundären Uhr: b iſt der Anker des Elektromagneten, an deſſen freiem Ende d eine hakenförmige Klinke befeſtigt iſt, deren Haken in die Zähne eines Rades e eingreift. Der Sperrhaken f verhindert eine rückgängige Bewegung dieſes Rades. Die Schraube c regulirt die Gangweite des Hakens und die Feder g zieht denſelben in ſeine Ruhelage zurück, wenn er nicht mehr von dem Elektromagneten angezogen wird.

Der Gang der Uhren erfolgt nun in folgender Weiſe:

Sobald das Pendel beim Anfange der erſten Secunde nach der Linken bewegt und dadurch D mit dem Kupferſtück C in Berührung gebracht wird, iſt die Batterie A geſchloſſen. In allen ſecundären Uhren wird daher der Anker b von a angezogen und der Haken d legt ſich in die nächſte Zahnlücke des Rades e ein. Sobald aber gleich darauf das Pendel zurückſchwingt und D auf Elfenbein kommt, iſt der Strom unterbrochen, die Feder g zieht den Haken d zurück und dieſer nimmt einen Zahn des Rades e mit. Erſt nach Vollendung der erſten Secunde kommt D wieder

auf das Kupferſtück C zu ſtehen; die Batterie iſt wieder geſchloſſen und es legen ſich die Haken d ſämmtlicher ſecundärer Uhren in die folgenden Zahnlücken des Rades e ein u. ſ. w. Man ſieht, wie dieſes Spiel des Hakens d ſich mit jeder Secunde wiederholt und das Rad e, wenn es 60 Zähne hat, ſich genau in einer Minute umdrehen muß. Der Zeiger desſelben giebt daher die Secunden an; die Bewegung des Minuten- und des Stundenzeigers erfolgt dann von dem Rade e aus, wie bei den gewöhnlichen Uhren.

Garnier's Uhren ſind bereits mehrfach im Großen in Anwendung; ſie ſetzen ebenfalls eine Normaluhr voraus, in welcher nicht das Pendel ſelbſt, ſondern ein beſonderes Rad alle 5 oder 6 Secunden einmal die Batterie ſchließt. Die ſecundären Uhren, die in Fig. 223 abgebildet ſind, zeichnen ſich durch einen ſehr ſichern Gang aus, der durch die eigenthümliche Conſtruction des Hemmungsrades erhalten wird.

Fig. 223.

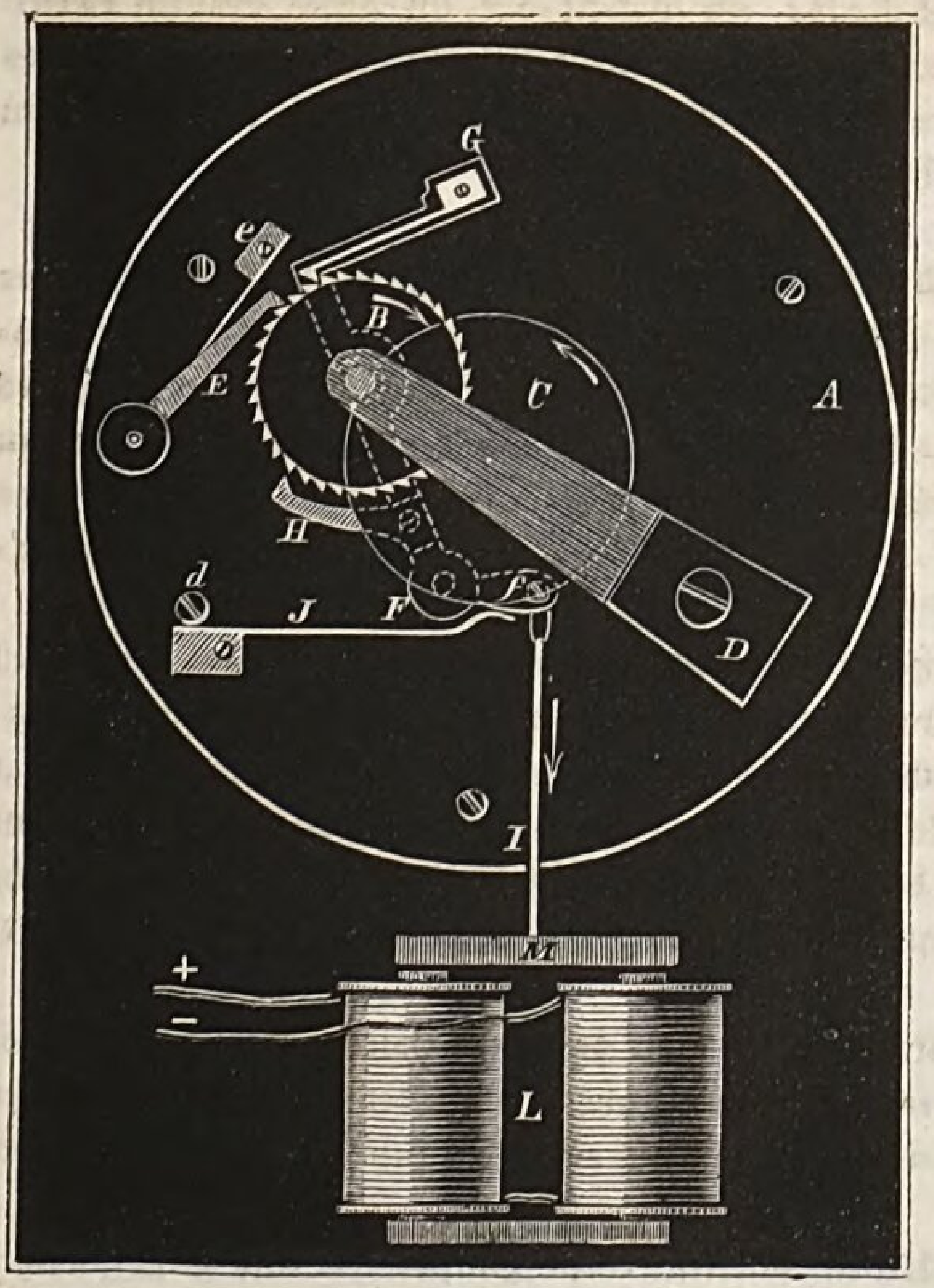


Fig. 224.

M der Anker des Elektromagneten, der alle 5—6 Secunden in Folge des durch die Normaluhr erzeugten Stromes angezogen wird und dann

an der Stange *I* den Arm *f* des Winkelhebels *f F G* (ſ. Fig. 225) niederzieht. Der obere Theil dieſes Hebels enthält den Haken *G*, welcher in den Zahnlücken des Rades *B* liegt und es um einen Zahn nach der Richtung des Pfeiles dreht, ſobald *f* niedergeht und dadurch *G* nach der Rechten geſchoben wird. Zugleich legt ſich dabei der Haken *H* in die Zähne des Rades *B* ein, um zu verhüten, daß nie zwei Zähne zugleich durch *G* fortgezogen werden können; während der Sperrhaken *E* eine rückläufige Bewegung dieſes Rades *B* nicht zuläßt. Die Bewegung des Rades *B*, die durch dieſe Vorkehrungen ſehr beſtimmt wird, überträgt ſich mittelſt eines Syſtems von Rädern auf den Minuten- und Stundenzeiger.

Fig. 225.

Gegenwärtig beſchäftigt ſich Stöhrer, der bereits im Jahre 1849 mit dem Uhrmacher W. Scholle ein Patent auf ein neues Syſtem elektriſcher Uhren genommen hat, vielfach mit dieſem Gegenſtande, und bereits befindet ſich eine ziemliche Anzahl von ſeinen Apparaten in Leipzig, in Berlin u. a. O. im Betriebe.

237 **Galvaniſch regiſtrirende Uhren** ſind zuerſt in Nordamerika vor ungefähr anderthalb Jahren von Profeſſor Locke erfunden und in Anwendung gebracht worden. Um von dieſer ſinnreichen Benutzung des Galvanismus, welche für die Aſtronomie von der größten Bedeutung zu werden verſpricht, unſern Leſern einen Begriff zu geben, folgt hier, was Lamont in ſeinem aſtronomiſchen Kalender für das Königreich Baiern auf das Jahr 1852 Seite 153 darüber ſagt:

»Zu einer galvaniſch regiſtrirenden Uhr braucht man als Haupttheil »eine gewöhnliche aſtronomiſche Uhr mit folgender ſpecieller Einrichtung:

»Die Axe, an welcher der Secundenzeiger der Uhr feſtgemacht iſt, trägt »(hinter dem Zifferblatte) ein beſonderes Rad mit 60 Zähnen: ſo oft eine »Secunde ſpringt, bewirkt ein Zahn dieſes Rades eine augenblickliche »Schließung einer galvaniſchen Kette, in welcher ſich ein Elektromagnet »befindet.

»In dem Momente, wo die Kette geſchloſſen wird, zieht der Elektromagnet ſeinen Anker an, dabei macht ein mit dem Anker verbundenes »ſpitziges Hämmerchen einen Punkt auf einen darunter befindlichen Papierſtreifen.

»Da der Papierſtreifen mittelſt eines Laufwerkes mit gleichmäßiger »Geſchwindigkeit ſich unter dem Hämmerchen vorwärts bewegt, ſo wird »auf ſolche Weiſe eine Reihe von Punkten (nach Locke's Einrich-

»tung ungefähr einen Zoll auseinander) auf dem Papierſtreifen entſtehen, »welche die Zeitſecunden vorſtellen. Dieſe nennt man Se»cundenpunkte.

»Das Rad, welches die Schließung der Kette bewirkt, iſt ſo eingerichtet, »daß bei der 60ſten Secunde die Schließung etwas länger dauert; es ent»ſteht demnach bei jeder Minute auf dem Papiere anſtatt des Punktes »ein kurzer Strich. Auf ſolche Weiſe werden die vollen Minuten er»kennbar gemacht.«

»Dies iſt die ganze Einrichtung, ſo weit die Uhr einzuwirken hat: der »Zweck geht dahin, daß die Secunden aufgezeichnet werden.

»Neben dem eben beſprochenen Elektromagnet iſt aber ein zweiter feſtge»macht, der ebenfalls mit Anker und Hämmerchen verſehen iſt und einer »Kette angehört, die der Beobachter beliebig ſchließen kann, da»durch, daß er mit dem Finger auf eine Taſte (ähnlich einer Klaviertaſte) »anſchlägt. Die zwei Hämmerchen befinden ſich unmittelbar neben einander, »und ſo oft die Taſte angeſchlagen wird, macht das zweite Hämmerchen »einen Punkt in gleicher Weiſe wie das erſte; wenn man alſo wiederholt »anſchlägt, ſo entſteht auf dem Papierſtreifen eine zweite Reihe von Punk»ten neben der erſten Reihe — den Secundenpunkten — fortlaufend. »Dieſe werden Beobachtungspunkte genannt.

»Nach der gegebenen Erklärung wird man ſich den Gebrauch leicht vor»ſtellen können. Es ſei z. B. eine Sonnenfinſterniß zu beobachten, ſo »ſieht man durch das Fernrohr und hält den Finger an der Taſte, bis der »Mondrand die Sonne berührt. In dem Augenblicke, wo die Berührung »ſtattfindet, ſchlägt man die Taſte an und ein Punkt iſt auf dem Papier»ſtreifen gemacht.

»Nun ſieht man auf dem Papierſtreifen nach. Steht der Beobachtungs»punkt neben einem Secundenpunkte, ſo hat die Beobachtung mit der »Secunde zuſammengetroffen und der Anfang der Finſterniß tritt um ſo »viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Trifft der Beobachtungspunkt »nicht neben einem Secundenpunkte, ſondern zwiſchen zwei Secunden »ein, ſo kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierſtreifen »abmeſſen und danach (mittelſt einer Scala) beſtimmen, wie viel Zehntel »und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächſt vorher»gehenden Secunde hinzukommen. So iſt es möglich, den Zeitpunkt einer »Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

»Dieſe große Genauigkeit der Ableſung iſt ein weſentlicher Vorzug »der galvaniſch regiſtrirenden Uhr.

»Auf ähnliche Weiſe wird verfahren, wenn man an einem Meridian»Inſtrument die Durchgänge der Sterne beobachtet. So oft der Stern »an einen Faden kommt, ſo ſchlägt man die Taſte an und kann auf dem

»Papierſtreifen ſpäter die Zeiten mit beliebiger Schärfe ableſen. Wenn »man aber Beobachtungen dieſer Art macht, ſo iſt es vor Allem zweckmäßig, »die gewöhnlichen Fadennetze der Meridianinſtrumente abzuändern. Bei »der gewöhnlichen Beobachtung hat man gefunden, daß die Zwiſchenräume »der Fäden 25 Secunden (Zeit) betragen müſſen, wenn die Durchgänge »gehörig beſtimmt werden ſollen. Beim Anſchlagen der Taſten dagegen »reichen Zwiſchenräume von $1\frac{1}{2}$ Secunden vollkommen aus, ſo daß man »10 Fäden hinbringen kann, wo früher nur einer war.

»Die Zahl der Beobachtungen kann alſo in derſelben Zeit auf das »Zehnfache vermehrt werden, und was ſonſt in zehn Jahren geleiſtet »werden konnte, läßt ſich jetzt mit Hülfe einer regiſtrirenden »Uhr in einem Jahre zu Stande bringen.

»Die zwei Vortheile, die wir eben bezeichnet haben: nämlich größere »Genauigkeit der einzelnen Beobachtung und zehnfach grö- »ßere Leiſtung in demſelben Zeitraum, werden an und für ſich zu »dem Ausſpruche berechtigen, daß die Aſtronomie durch die Erfindung von »Locke ein mächtiges Hülfsmittel erhalten hat. Der Ausſpruch wird noch »mehr gerechtfertigt erſcheinen, wenn wir noch die ſonſtigen Vortheile re- »giſtrirender Uhren näher betrachten.

»Bisher mußte man die Uhr immer neben ſich haben, um die Secunden »zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren »Nähe der Uhr gemacht werden, ſo war dies, ſelbſt wo alle Hülfsmittel ge- »geben waren, eine ſehr umſtändliche Sache; bei einer regiſtrirenden Uhr »dagegen iſt es ganz gleichgültig, wo ſie ſteht, da man die Drahtleitung »leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es iſt nicht ein- »mal erforderlich, daß die aſtronomiſche Uhr im Beobachtungsſaale ſelbſt »ihren Platz habe, vielmehr erſcheint es zweckmäßiger, ſie in einem Wohn- »zimmer oder Büreau — natürlich an einem iſolirten Pfeiler — aufzu- »ſtellen, wo ſie keiner großen Temperaturveränderung ausgeſetzt iſt und »einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

»Eine regiſtrirende Uhr läßt ſich ferner noch mit dem elektriſchen Tele- »graphen in Verbindung bringen und zu mannichfaltigen Zwecken benutzen. »Dieſebe Uhr kann z. B. einen Regiſtrirapparat an der Münchener und »einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der »Durchgang derſelben Sterne über den Meridian beobachtet wird, ſo läßt »ſich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographiſche »Längendifferenz ableiten.

»Solche Beſtimmungen ſind in Nordamerika bereits mit dem beſten »Erfolge ausgeführt worden. Aehnliche Operationen werden ohne Zweifel »bald auf dem europäiſchen Continent zur Ausführung kommen. Schon »in der nächſten Zukunft wird das Telegraphennetz ſo weit ausgebreitet

»ſeyn, daß die Sternwarten von Paris, Wien, Berlin, München, Prag, »Mailand, Brüſſel, Bonn, Breslau, Leipzig unmittelbar mit einander in »Verbindung geſetzt werden können.

»Ein weiterer Vortheil beſteht darin, daß eine genaue Vergleichung der »Uhren verſchiedener Sternwarten ſtattfinden kann, was bei mancherlei »Gelegenheit von Wichtigkeit iſt, beſonders bei Sonnenfinſterniſſen, bei »merkwürdigen Sternbedeckungen u. ſ. w.

Lamont hat auf der Münchener Sternwarte bereits eine galvaniſch regiſtrirende Uhr eingerichtet.

Galvaniſche Töne. Der Erſte, welcher eine hierher gehörige Tonbil- 238
dung beobachtet hat, iſt Page. Eine flache Spirale von 40 Windungen eines dicken (überſponnenen) Kupferdrahtes wurde zwiſchen den Polen eines aufgehängten Hufeiſenmagneten ſo angebracht, daß keine Berührung zwiſchen der Spirale und den Polen ſtattfand. Die Spirale befand ſich im Schließungsbogen eines einfachen voltaiſchen Elementes. Wenn nun die Kette geöffnet oder geſchloſſen wurde, ſo hörte Page in dem Magneten einen anhaltenden Ton. Beim Schließen war der Ton ſchwächer als beim Oeffnen, in welchem Fall er auf 2 — 3 Fuß Entfernung hörbar war. Das Oeffnen und Schließen der Kette geſchah in ſolcher Entfernung von der Spirale und dem Magneten, daß das Geräuſch der dabei entſtehenden Funken nicht ſtörend einwirken konnte. (Silliman, Amer. Journ. July 1837. P. A. XXXXIII, 411).

Im LXIII. Bande von Poggendorf's Annalen findet ſich nun auf Seite 530 in Betreff des Tönens beim Elektromagnetiſiren die Notiz, daß Page's Entdeckung zu Frankfurt a. M. dahin erweitert ward, daß Eiſenblech, zu einem Cylinder gebogen, innerhalb des ſchraubenförmigen Schließungsdrahtes einer voltaiſchen Kette beim Anfang und Ende des Stromes ein Kniſtern hören laſſe. — Von wem dieſer Verſuch herrührt, iſt nicht geſagt. An derſelben Stelle wird aber weiter berichtet, daß Marian in Birmingham das Tönen von Eiſenſtäben beobachtet habe, welche ſich in einer Magnetiſirungsſpirale befinden, wenn der Strom, welcher dieſelbe durchläuft, abwechſelnd unterbrochen und wieder hergeſtellt wird. — Die Stäbe waren $1/4$ bis 2 Zoll dick und $1/2$ bis 20 Fuß lang; ſie gaben dabei immer denſelben Ton, der auch durch Streichen ihres Endes zu erhalten war (alſo wahrſcheinlich der Longetudinalton). Harter Stahl und ein Magnetſtab verhielten ſich ebenſo. Andere Metalle tönten nicht.

Dieſe Notiz iſt dem Phil. Mag. (1844 Vol. 25 p. 382) entnommen, wo wahrſcheinlich Näheres über die Art und Weiſe ſich findet, wie Marian ſeine Verſuche anſtellte. Weiter unten finden ſich detaillirte Angaben über ähnliche Verſuche Wertheim's.

Die Comptes rendus (T. XX, p. 1827) enthalten einen Brief De La Rive's an Arago, in welchem er von ſeinen Verſuchen über das galvaniſche Tönen Nachricht giebt. (P. A. LXV, 637). Was in demſelben über die Verſuche ſelbſt geſagt iſt, mag hier (mit Hinweglaſſung alles Raiſonnements) wörtlich folgen:

»Auf einem Reſonanzboden brachte ich Drähte und Stäbe an, verſchieden an Metall, an Länge und Durchmeſſer; die Einrichtung des Apparates erlaubte, die Drähte mehr oder weniger zu ſpannen, wie auf einem Monochord. Jeder Stab oder Draht war ſo angeordnet, daß er durch die Axe einer Spule gehen konnte, die mit einem dicken, mit Seide überſponnenen Kupferdraht ſchraubenförmig umgeben war. Den mittelſt eines Commutators discontinuirlich gemachten Strom ließ ich bald durch den zum Verſuch genommenen Metalldraht ſelber gehen, bald durch den ihn umgebenden Schraubendraht. Folgendes waren die Reſultate:

»Bei eiſernen Drähten und Stäben iſt der Ton faſt derſelbe, es mag der discontinuirliche Strom geradezu durch ſie gehen, oder ſie abwechſelnd magnetiſiren und demagnetiſiren, indem man ihn durch den Schraubendraht leitet. — — — — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — — —

»Was den Ton betrifft, ſo kann ich keine beſſere Idee von ihm geben, als wenn ich ihn mit dem eines Savart'ſchen gezahnten Rades vergleiche. Es iſt mehr ein Geräuſch, hervorgehend aus dem Stoß der Metalltheilchen gegeneinander, als ein muſikaliſcher Ton. Freilich hört man auch muſikaliſche Töne, nämlich die harmoniſchen von demjenigen, welchen der Draht oder Stab durch Querſchwingungen geben würde; — — — — Man kann ſie verſchwinden machen, wenn man den ſchwingenden Körper mit der Hand anfaßt, ohne daß dadurch das eigentliche Geräuſch aufhört.

»Wenn der Eiſendraht angelaſſen iſt, giebt er bei Leitung des elektriſchen Stroms einen weit ſtärkeren Ton, als wenn er durch die Wirkung des Schraubendrahtes abwechſelnd magnetiſirt und demagnetiſirt wird. Das Umgekehrte findet bei einem gehärteten Stahl ſtatt. Ein Stahldraht giebt, den Strom leitend, nur einen ſehr ſchwachen Ton, und unter Einfluß des durch den Schraubendraht gehenden Stromes einen weit ſtärkern. Der Ton, welchen ein wohl angelaſſener Eiſendraht bei Leitung des Stromes giebt, iſt ein ſehr ſtarker, der viel Aehnlichkeit hat mit dem Ton einer Thurmglocke von Weitem.

»Die Art des Tones iſt verſchieden nach der Geſchwindigkeit, mit welchen die discontinuirlichen Ströme auf einander folgen. Iſt dieſe Folge raſch, ſo ähnelt der Ton ſehr dem Geräuſch eines ſtarken Windes. Das gilt

»ſowohl von dem nach der einen, als nach der andern Art hervorge- »brachten Ton.

»Derſelben doppelten Wirkung habe ich ausgeſetzt: Platin-, Silber-, »Kupfer-, Meſſing-, Neuſilber-, Blei-, Zinn- und Zinkdrähte. Alle gaben »wahrnehmbare, mehr oder weniger intenſive Töne, ſie mogten den Strom »leiten oder der Wirkung des ſchraubenförmigen Stroms ausgeſetzt ſeyn. »Bei jedem Metall war zwiſchen dem nach der einen oder der andern »Weiſe erzeugten Ton kein merklicher Unterſchied.

»Merkwürdig iſt, daß Kupfer, Meſſing, Platin und Argentan nur »einigermaßen intenſive Töne geben, ſo lange ſie keiner merklichen Span- »nung ausgeſetzt ſind, ſo wie man ſie aber ein wenig ſpannt, nimmt die »Intenſität des Tones ab und bei ſtarker Spannung wird ſie faſt Null. »Genau das Umgekehrte gilt vom Blei, Zink und Zinn.

»Die Länge des Drahtes hat keinen Einfluß auf die Art des Tons; »ſie hat nur einen auf die Intenſität deſſelben inſofern, als bei ſchwächerem »Strom eine geringere Drahtlänge erforderlich iſt, wenn der Ton merklich »ſeyn ſoll, wenigſtens wenn es ſich um den Ton handelt, den der Draht »bei Leitung des Stromes giebt. — — — — — — — —

— — — — — — — — — — — — — —

»Eine Grove'ſche Batterie von 5 großen Elementen reicht zu den meiſten »dieſer Verſuche aus. Die Metalle, welche am ſchlechteſten leiten, ſcheinen »mir die ausgezeichnetſten Wirkungen zu geben; nächſt dem Eiſen, das »alle übrigen weit übertrifft, kommt das Platin.

»Damit die Wirkung deutlich ſey, muß der Strom in dem metalliſchen »Leiter, welchen er in Schwingungen verſetzen ſoll, einen größeren Wider- »ſtand antreffen, als im übrigen Theil der Kette. — — — —

— — — — — — — — — — — — — —

»Eine recht merkwürdige Art von Schwingung erhält man, wenn man »den discontinuirlichen Strom durch einen mit Seide beſponnenen Kupfer- »draht gehen läßt, der um eine Spule oder einen Glasbecher ſchrauben- »förmig aufgewickelt iſt. Der Ton iſt dann von viel ſanfterem, weniger »metalliſchem Klange und zugleich weit tiefer als der, welcher durch den »Einfluß des Stromes auf einen gleich dicken, in die Schraube gelegten »Draht hervorgebracht wird. (Demnach ſollte man wohl erwarten, daß jede Magnetiſirungsſpirale tönt! M.)

»Die Schwingungsbewegung, die aus ſucceſſiver Magnetiſirung und »Entmagnetiſirung des weichen Eiſens entſteht, kann unter ſehr mannich- »faltigen Formen auftreten. Als einen der ſonderbarſten Fälle erwähne »ich nur den, wo man in das Innere einer Spule oder eines Glaſes, »welches ſchraubenförmig mit einem Metalldraht umwickelt iſt, ſehr kleine »Scheiben von dünnem Eiſenblech oder ſehr feines Eiſenfeilicht bringt.

»Wenn dann der discontinuirliche Strom den Schraubendraht durchläuft, »ſo ſieht man die Scheibchen ſich bewegen und in der merkwürdigſten »Weiſe um einander drehen. Das Feilſel ſcheint vollkommen im Kochen »zu ſeyn, und iſt der Strom intenſiv, ſo ſpritzt es, wie Waſſer, in Strah- »len von 3 bis 4 Centimeter Höhe auf; zugleich iſt dieſe Bewegung des »Feilſels von einem Geräuſch, ähnlich dem einer ſiedenden Flüſſigkeit, »begleitet.«

In dem ſchon oben auf Seite 408 erwähnten Aufſatze De La Rive's, verbreitet ſich derſelbe (Seite 285) auch über die galvaniſchen Töne. Die das Experiment ſelbſt betreffenden Stellen ſind folgende:

»Außer Eiſenſtäben nahm ich auch Stäbe von anderen Metallen, wie »Zinn, Zink, Blei, Wismuth u. ſ. w. Ich legte ſie auf die Pole eines »Elektromagneten und ließ den unterbrochenen Strom einer Groveſchen »Batterie von 5 bis 10 Paaren durch ſie gehen. So lange der Elektro- »magnet nicht magnetiſirt war, gaben ſie keinen Ton; ſo wie er aber »wirkte, hörte man deutlich Töne, beſtehend aus einer Reihe von Schlägen, »welche den Unterbrechungen des Stromes entſprachen und den durch ein »gezahntes Rad erzeugten Tönen analog waren. Die Stäbe waren 18 »Zoll lang und 9 bis 10 Linien im Quadrat. Stäbe von Kupfer, Platin »und Silber gaben ähnliche Wirkungen. Ein Eiſenſtab gab unter dem »Einfluß des Magneten keinen lauteren Ton, als ohne deſſen Einwirkung.

»Am merkwürdigſten ſchien es mir, daß Blei, ein ſo wenig elaſtiſcher »Körper, unter gleichen Umſtänden einen eben ſo kräftigen Ton lieferte, »wie die übrigen Metalle. Die Lage der Metallſtäbe in Beziehung auf »die Pole des Elektromagneten änderte das Reſultat des Verſuchs in keiner »Weiſe ab; ſie mochten axial, d. h. in der Richtung der Pole, oder äqua- »torial, d. h. quer gegen die Pole gelegt werden, ſo blieb doch der Effect »derſelbe; nur war er ſchwächer, ſo wie die Entfernung des Stabes von »den Polen wuchs. Um den Ton, wenn er nicht ſehr ſtark war, deut- »lich zu hören, brauchte man nur den Metallſtab durch einen Holzſtab »mit dem Ohr in Verbindung zu ſetzen. Auf dieſe Weiſe wurde der Ton »nicht ſelten einige Secunden lang gehört und wenn der Elektromagnet »außer Thätigkeit geſetzt ward, vor ſeinem gänzlichen Verſchwinden lang- »ſam abnehmend. — — — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — — —

»Die Stärke des Tons ſcheint viel weniger von der Natur der zum »Verſuch genommenen Subſtanz abzuhängen, als von deren Geſtalt, »Volum und Maſſe. Röhren von Platin, Kupfer oder Zink geben deut- »lichere Töne, als maſſive Stäbe von dieſen Metallen. Ich wickelte einen »Bleidraht ſchraubenförmig auf einen Holzcylinder; ich that daſſelbe mit »einem ſehr feinen Platindraht, ſowie auch mit Drähten von Kupfer,

»Zink und Zinn, mit der Vorſorge, die Windungen ſo weit auseinander »zu halten, daß ſie iſolirt waren. Dieſe Schraubendrähte gleich Stäben »oder Röhren entweder in der Richtung der Pole oder quer darauf gelegt, »gaben ſehr ſtarke Töne, wenn bei geladenem Elektromagnet ein unter- »brochener Strom durch ſie geleitet wurde. Beſonders überraſchend war »es, den Bleidraht einen ſo ſtarken Ton geben zu hören. Ein mit Seide »beſponnener Kupferdraht, in mehreren Lagen ſchraubenförmig übereinander »gewickelt, gab ebenfalls einen ſehr ſtarken Ton; auch gab er einen, ob- wohl viel ſchwächern, unter Einwirkung des Elektromagneten.

»Es iſt faſt unnöthig, zu bemerken, daß bei allen dieſen Verſuchen ein »gewöhnlicher Magnet eben ſo wirkt wie ein Elektromagnet. Allein in- »tereſſanter iſt es, den Elektromagneten durch einen Schraubendraht zu »erſetzen, welcher von einem ſtarken continuirlichen Strom durchlaufen »wird, in deſſen Axe man den Stab, die Röhre oder den aufgewickelten »Draht, welcher den unterbrochenen Strom leitet, gelegt hat. Verſuche »haben mir gezeigt, daß in dieſem Falle die Reſultate dieſelben ſind; die »Stärke der Töne iſt nicht ſehr verſchieden, beſonders wenn Röhren und »ſchraubenförmige aufgewickelte Drähte gebraucht werden. Wenn zwi- »ſchen dem äußern Schraubendraht und dem der Wirkung unterworfenen »Metall eine Röhre von weichem Eiſen eingeſchoben wird, iſt die Wir- »kung etwas ſtärker; dagegen wird ſie, wenn die Röhre von Kupfer iſt, »weder verſtärkt noch geſchwächt; nur hört man in dieſem Fall noch ei- »nen andern Ton, der von der Kupferröhre auszugehen ſcheint. Dieſe »Röhre wird indeß nicht von einem Strom durchlaufen; allein wahr- »ſcheinlich wirken auf ſie Inductionsſtröme, welche von den unterbroche- »nen Strömen, die den in der Axe des Schraubendrahtes liegenden Leiter »durchlaufen, in ihr erzeugt werden. Ich conſtruirte aus zwei dicken, mit »Seide beſponnenen Kupferdrähten einen doppelten Schraubendraht, jeden »von mehreren Windungen und den einen über den andern. Als ich den »ſtetigen Strom durch den äußern Draht gehen ließ, und den unterbro- »chenen durch den inneren, hörte ich einen merkwürdig ſtarken Ton. Im »umgekehrten Fall entſtand ein viel ſchwächerer Ton.

»Metalle und ſtarre Subſtanzen ſind nicht die einzigen Körper, »welche die oben beſchriebenen Erſcheinungen hervorbringen; vielmehr ſchei- »nen alle leitenden Körper, was auch ihr Zuſtand oder ihre Natur ſeyn »möge, dazu geſchickt zu ſeyn. So habe ich ſie mit Kohlenſtücken aller »Arten und Geſtalten beobachtet. Auch Queckſilber erzeugt ſie in markir- »ter Weiſe. In eine Glasröhre von 1 Zoll Durchmeſſer und 10 Zoll »Länge ſchloß ich Queckſilber ein; die Röhre war ganz voll und ſorgfältig »verſchloſſen, ſo daß das Queckſilber ſich nicht bewegen konnte. Dennoch »wurde ein merkwürdig ſtarker Ton gehört, ſo wie man mittelſt zweier

»Platindrähte einen unterbrochenen Strom hindurchleitete und den Elek»tromagneten oder Schraubendraht wirken ließ. Ebenſo gab Queckſilber »einen Ton, wenn es, ſtatt in eine Röhre eingeſchloſſen zu ſein, in einen »offenen Trog gegoſſen war. — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — —

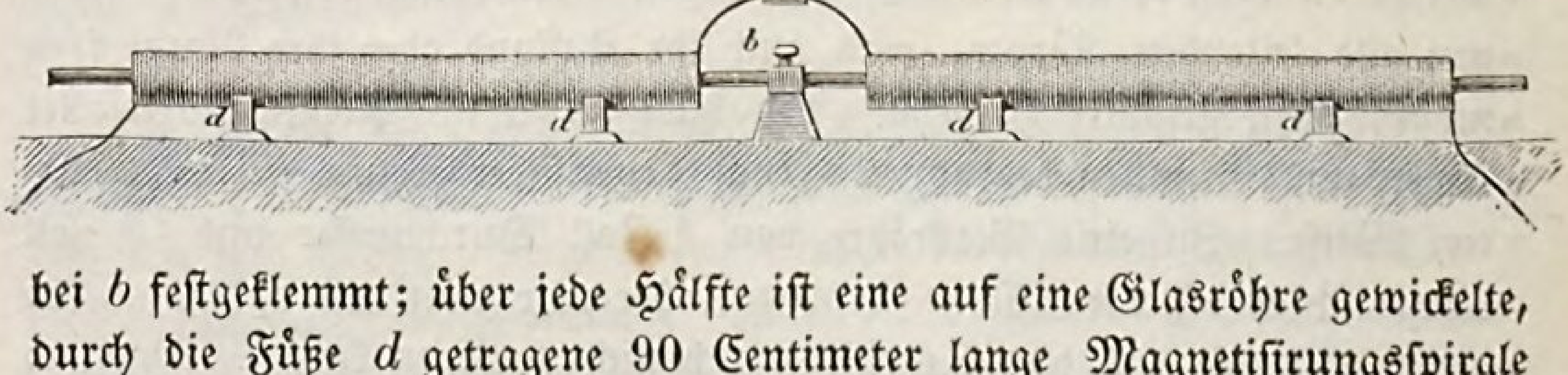
»In eine Platinſchale, die auf einem der Pole eines Elektromagneten »ſtand, wurde ſucceſſive verdünnte Schwefelſäure, und was ſelbſt beſſer »iſt, Salzwaſſer gegoſſen. In die Flüſſigkeit tauchte man eine Platin»ſpitze, die nebſt der Schale dazu dient, einen unterbrochenen Strom »durch jene zu ſenden. Wiederum ward ein Ton gehört, doch weniger »deutlich, wegen des Geräuſches, welches die Gasentwickelung verurſachte; »dennoch war es ſo vernehmlich, daß über ſein Daſeyn kein Zweifel übrig »bleiben konnte.«

Gewiß iſt es eine Reihe eben ſo intereſſanter, wie für die Entwickelung der Theorie wichtiger Erſcheinungen, welche De la Rive durch ſeine Experimentaluntersuchungen aufgefunden und in dem Obigen bekannt gemacht hat. Was nun aber die Details der Verſuche anbelangt, ſo iſt ſchwerlich in Abrede zu ſtellen, daß De la Rive in den citirten Stellen die Bedingungen nicht genügend hervorgehoben hat, welche zum Gelingen der Verſuche nothwendig ſind. Ein weiterer Aufſatz De la Rive's über denſelben Gegenſtand in den Annales de l'électricité Nro. 17. iſt mir nicht zu Geſicht gekommen, ich weiß alſo nicht, ob er präciſere Angaben enthält.

239 **Wertheim's Unterſuchungen über die durch den elektriſchen Strom hervorgebrachten Töne.** Auch Wertheim hat über die Tonerregung durch Galvanismus Verſuche angeſtellt. Die erſte Notiz findet ſich in Compt. rend. XXII, p. 336. P. A. LXVIII, S. 140. In einem ſpäteren Aufſatz (Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIII, 302; P. A. LXXVII, 43.) ſind dieſe Verſuche genauer beſchrieben und durch Abbildungen erläutert.

Um den galvaniſchen Ton in Eiſenſtäben zu erzeugen, wandte er den Apparat Fig. 226 an. Ein 2 Meter langer Eiſenſtab iſt in ſeiner Mitte

Fig. 226.



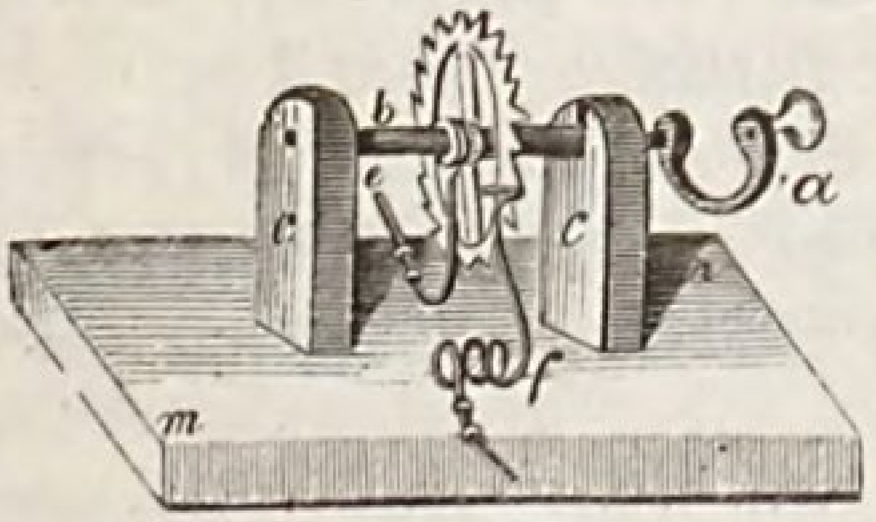
bei *b* feſtgeklemmt; über jede Hälfte iſt eine auf eine Glasröhre gewickelte, durch die Füße *d* getragene 90 Centimeter lange Magnetiſirungsſpirale geſchoben, ſo daß das Ende des Stabes noch vorragt.

Durch Streichen eines der freien Enden kann man den longitudinalen Ton des Stabes erzeugen. Dieſer Ton bleibt derſelbe, mag nun in den Spiralen ein Strom circuliren oder nicht.

Sobald man den Strom discontinuirlich macht, läßt der Stab ebenfalls einen Ton hören, welcher dem durch Reiben erzeugten Longitudinalton ganz gleich iſt; er iſt unabhängig von der Geſchwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Die Unterbrechungen und Wiederſchließungen des Stromes wurden entweder an einer der Drahtklemmen bewerkſtelligt, oder mittelſt eines in den Schließungsbogen eingeſchalteten Queckſilbernäpfchens, oder endlich mittelſt eines Rheotoms (ein Apparat wie der Fig. 227 iſt dazu ganz tauglich) zu Stande gebracht, welcher, um das Geräuſch und die Stöße ſeiner Bewegung zu vermeiden, in einem anſtoßenden Zimmer aufgeſtellt war.

Fig. 227.



Als zu dieſem Verſuche Stäbe von 2 — 1,6 — 1,33 und 1 Meter Länge angewandt wurden, gaben ſie den Grundton, die Terz, die Quart und die Octav.

Der longitudinale Ton iſt faſt immer begleitet von einem Stoß und trockenem Geräuſch, welches nicht den Charakter eines beſtimmten muſikaliſchen Tones hat.

Das Reſultat bleibt für alle Querdimenſionen daſſelbe.

Stahlſtäbe geben gleichfalls ſehr ſchöne Töne; dagegen geben Stäbe von Zink, Kupfer, Meſſing, Glas u. ſ. w. ſelbſt mit Säulen von 20 Bunſen'ſchen Elementen keinen Ton.

Befindet ſich der Stab außerhalb der Axe der Spirale, ſo iſt der longitudinale Ton weniger rein und von Querſchwingungen begleitet, die ſchon dem bloßen Auge ſichtbar ſind; allein dieſe Schwingungen geben einen ſo ſchwachen Transverſalton, daß man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Der Ton bleibt ſich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengeſetztem Sinn die beiden Hälften des Stabes umkreiſen, oder endlich nur auf eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, ſobald nur dieſer Theil hinlänglich vom Einſpannungspunkt entfernt und der Strom hinlänglich ſtark iſt.

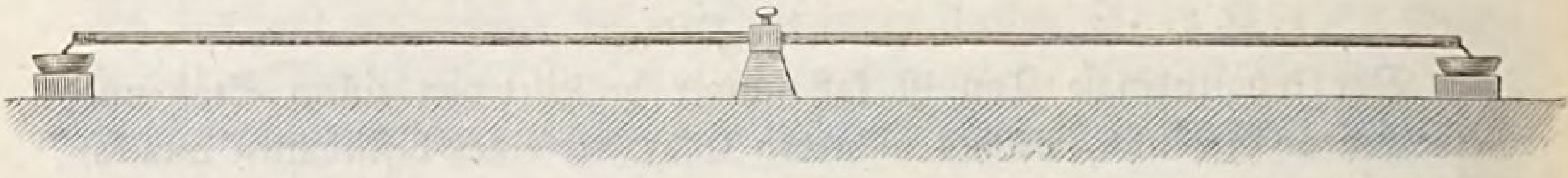
Aehnliche Reſultate wurden mit Eiſen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetiſirungsſpirale ausgeſpannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 Millimetern Dicke an. Sobald die Spannung ſo ſtark war, daß der am Draht hinabgeführte Vio-

linbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräuſch vornehmen ließ, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, iſt ſowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem andern Geräuſch begleitet. Dieſes Geräuſch iſt nicht bloß der Querton, ſondern ein ganz eigenthümliches, anſcheinend den Draht entlang laufendes Geklirr, ſo wie andere Arten von ſchwer beſtimmbarem Geräuſch, welches vorzugsweiſe bei raſch auf einander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten iſt dieſes Geräuſch ſchwer zu beobachten, während der Längston ſelbſt bei ſchwachen Spannungen andauert. — Wohl angelaſſene Drähte von 1^{mm} Durchmeſſer geben im Allgemeinen die beſten Reſultate.

Drähte von **Blei**, **Zinn**, **Zink**, **Kupfer**, **Meſſing**, **Silber** und **Platin** geben, nach **Wertheim**'s Verſuchen, keinen Ton.

Auch mit dem **durchgeleiteten Strom** brachte **Wertheim** Töne hervor. Um ſie in einem Eiſenſtabe zu erzeugen, befeſtigte er einen dünnen Meſſinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 228, und tauchte dieſelben in Queckſilbernäpfchen.

Fig. 228.

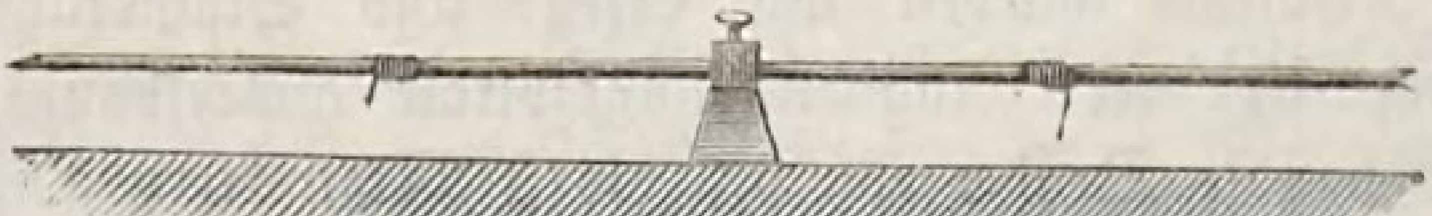


Jedesmal, wenn der Strom hergeſtellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. »Bei dieſen Verſuchen muß man ſich aber ſehr hüten,« ſagt **Wertheim**, »den eigenen Ton des Stabes zu verwechſeln mit dem Geräuſch des Funkens, welches ſich gleich jedem andern Ton mit großer Leichtigkeit durch ſtarre Körper fortpflanzt. Dieſer Fehler wird leicht begangen, beſonders wenn der Stab oder der Draht auf einem Reſonanzkaſten befeſtigt iſt.«

Bei gleichem Strom nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker iſt.

Derſelbe Stab giebt ſtets denſelben Ton, wenn er auch nicht ſeiner ganzen Länge nach, ſondern nur theilweiſe von dem Strom durchlaufen wird, wie es der Fall iſt, wenn die den Strom einleitenden Häkchen ſo angebracht ſind, wie es Fig. 229 andeutet. Je mehr man ſich aber mit

Fig. 229.



dieſen Einleitungshäkchen der Mitte des Stabes nähert, je kürzer man alſo das vom Strom durchfloſſene Stück macht, deſto ſchwächer wird der Ton.

Wenn der Stab nicht eingeſpannt, ſondern auf Rollen gelegt wird, ſo iſt der Ton trockener und ſchwächer.

Berührt man das Ende des auf Rollen liegenden Stabes direct mit dem Zuleitungsdraht, ſo hört man deutlich ein Geklirr, welches den Stab entlang zu laufen ſcheint und von deſſen Durchmeſſer unabhängig iſt; es bleibt bisweilen mehrere Secunden, während der Längston erſt im Moment der Unterbrechung wieder erſcheint. Dies Geklirr erſcheint beſonders, wenn man den Stab mit dem poſitiven Pole berührt.

Wertheim macht hier die Bemerkung, daß dieſer Ton wahrſcheinlich von der Ordnung derjenigen ſey, welche De la Rive bei ſeinen im vorigen Paragraphen beſprochenen Unterſuchungen beobachtet hat.

Ein Stahlſtab läßt denſelben Ton und daſſelbe Geräuſch vernehmen, Stäbe von anderen Metallen geben, nach Wertheim, keinen Ton.

Mit Eiſen- und Stahldrähten von verſchiedenem Durchmeſſer erhält man den longitudinalen Ton ſehr rein, wenn ſie auf dem Sonometer ſtark ausgeſpannt ſind, ſo wie man aber ihre Spannung vermindert, miſchen ſich dem Längston die ſchon erwähnten Arten von Geräuſch bei.

Wenn die beiden Enden eines Eiſendrahtes, von dem ein Theil auf dem Sonometer ausgeſpannt iſt, während der Reſt ſchlaff bleibt, mit dem Rheotom in ein benachbartes Zimmer gebracht ſind, ſo hört man im Moment der Stromſchließung oder Unterbrechung in allen Theilen der Drahtleitung, wenn man das Ohr an dieſelbe hält, eine trockenes Geräuſch, ein Kniſtern, wie das von Funken, welches ſich erſt im ausgeſpannten Theile in einen deutlichen Ton verwandelt, während man nichts der Art hört, wenn man durch Reiben des einen Drahtendes an einem harten Körper ein Geräuſch erzeugt, welches unmittelbar weit ſtärker iſt als der Funken, ſich aber nicht durch den Leiter fortpflanzt.

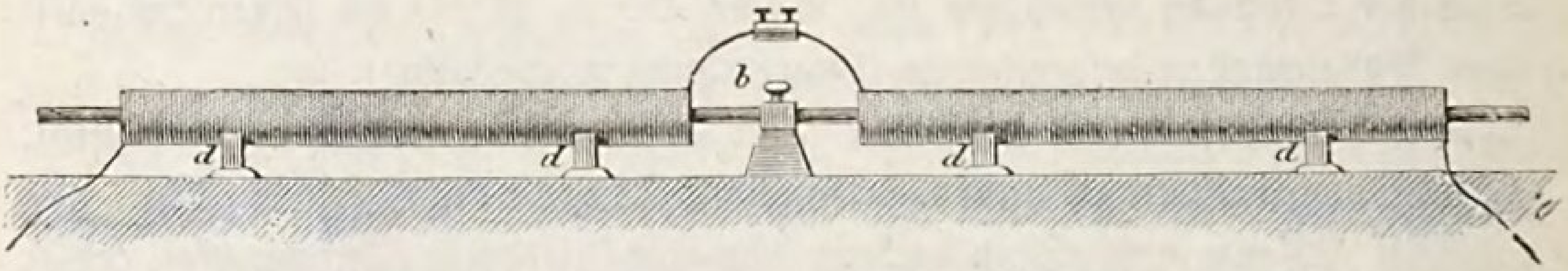
Unter denſelben Umſtänden geben Drähte von anderen Metallen keinen Ton.

Theorie des galvaniſchen Tönens. Wertheim ſucht die beſpro- 240
chenen Erſcheinungen durch mechaniſche Wirkungen des Stromes zu erklären. Er ſagt in der Einleitung des citirten Aufſatzes: »Können wir »beweiſen, daß der Strom, der äußere wie der durchgeleitete, eine plötz»liche Formveränderung, einen inſtantanen Stoß im Eiſen bewirkt; kön»nen wir beſtimmen, in welcher Richtung dieſer mechaniſche Effect ſtatt»findet; können wir überdies zeigen, daß derſelbe Effect in derſelben Rich»tung von einer andern rein mechaniſchen Kraft erzeugt, denſelben Ton

»wie der Strom hervorbringt: ſo wird es unnöthig ſeyn, zur Erklärung »des Phänomens irgend eine beſondere Hypotheſe aufzuſuchen, denn offen»bar entſpringt er dann aus den Schwingungen, welche jede plötzliche »Formveränderung begleiten, und die Meinungen können nur darin ab»weichen, auf welche Weiſe der Strom dieſen mechaniſchen Stoß hervor»bringe.«

Um die mechaniſchen Wirkungen des Stromes auf eine Eiſenſtange zu unterſuchen, wandte Wertheim einen Apparat an, deſſen Einrichtung mittelſt der in Fig. 230 abgebildeten Vorrichtung erläutert werden kann. Die Eiſenſtange war auf dieſelbe Weiſe befeſtigt, nur war der Ständer *b* höher, ſo daß eine Drahtrolle von größerem Durchmeſſer in Anwen-

Fig. 230.



dung gebracht werden konnte. Die zu dieſen Verſuchen dienende Drahtrolle hielt 1336 Meter Kupferdraht von 2,5 Millimeter Durchmeſſer, ſie hatte eine Länge von 25 Centimeter und 18 Centimeter innerem Durchmeſſer. An den Enden des Stabes waren Mikroſkope mit Fadenkreuzen angebracht, durch welche die geringſte Ortsveränderung des Stabes beobachtet werden konnte.

Die Reſultate ſind am deutlichſten, wenn ſich die Drahtſpirale möglichſt nahe am freien Ende des Stabes befindet.

Wenn die Stabaxe genau mit der Axe der Drahtrolle zuſammenfiel, beobachtete man keine Seitenbewegung, ſondern nur eine ſehr kleine Verlängerung, welche Wertheim einem longitudinalen Zug zuſchreibt. Dieſe Verlängerung ging ſelten über 0,002 Millimeter, und war, obwohl ſichtbar, doch faſt unmeßbar.

Nach Joule's Meſſungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetiſirten Eiſenſtabes $^1/_{270000}$ ſeiner Länge (Phil. Magazine, Februar und April 1847).

Verſchob man die Drahtrolle parallel mit ſich ſelbſt, ſo daß ſich der Stab nicht mehr in ihrer Axe befand, ſo blieb die Verlängerung, allein ſie war von einer weit bedeutenderen Seitenbewegung begleitet. Bei einem quadratiſchen Stabe, deſſen Seite 1 Centimeter und deſſen Länge vom Einſpannungspunkt bis zum Ende 997 Millimeter betrug, erreichte dieſe Seitenbewegung die Größe von 0,788 Millimetern, als der Stab 80 Millimeter aus dem Mittel der Spirale gerückt war. Unter gleichen Umſtänden betrug die Seitenbewegung eines mit ſeiner breiten Seite aufrecht

geſtellten 12^{mm} breiten und $3{,}375^{mm}$ dicken Streifens von Eiſenblech $5{,}121^{mm}$ und $2{,}322^{mm}$ bei einem quadratiſchen Stabe von 5^{mm} Seite.

Durch dieſe Verſuche iſt nachgewieſen, daß der durch einen Schraubendraht gehende Strom auf einen innerhalb deſſelben befindlichen Eiſenſtab oder Eiſendraht einen mechaniſchen Zug ausübt, welchen man als Reſultante einer longitudinalen und einer transverſalen Componente betrachten kann. Die im Sinne der Axe der Spirale wirkende Kraft iſt es, welche den longitudinalen Ton erzeugt.

Der durchgeleitete Strom erzeugt in dem eiſernen Leiter, den er durchläuft, einen plötzlichen Stoß, welcher nur den longitudinalen Ton erzeugen kann, weshalb der transverſale Ton gar nicht durch den durchgeleiteten Strom erzeugt wird.

De la Rive iſt nun anderer Meinung, er ſieht in der Tonbildung durch den galvaniſchen Strom ein molekulares Phänomen, und glaubt, daß es zum Beweis zweier wichtiger Sätze führe.

1) Der Uebergang des Stromes modificirt, ſelbſt in ſtarren Subſtanzen, die Anordnung der Theilchen.

2) Die Wirkung des Magnetismus, unter welcher Form ſie auch ausgeübt werden möge, modificirt ebenfalls die Conſtitution aller Körper, und dieſe Modification dauert ſo lange als die ſie erzeugende Urſache, und verſchwindet auch mit ihr.

Dieſe widerſprechenden Anſichten über die Urſache der galvaniſchen Tonbildung gaben Veranlaſſung zu einer Discuſſion, welche in den Comptes rendus (T. XXII, p. 428 und 544) geführt wurde. Wir können hier wohl um ſo eher über dieſe Controverſe weggehen, als man über die Identität des Phänomens, welches erklärt werden ſoll, noch keineswegs im Reinen iſt, denn daß De la Rive vielfach mit anderen Erſcheinungen zu thun hatte, als diejenigen, welche Wertheim unterſucht hat, unterliegt wohl keinem Zweifel.

Einfluß des galvaniſchen Stroms und des Elektromagnetis- 241
mus auf die Elaſticität der Metalle. Ueber dieſen Gegenſtand hat Wertheim Verſuche angeſtellt, welche ihn zu folgenden Reſultaten führten. (Ann. de chem. et de phys. Sér. III. T. XII, p. 610. — P. A. Ergänzungsband v. 1848. S. 99.)

1) Der galvaniſche Strom bewirkt in den von ihm durchlaufenen Metalldrähten eine momentane Verringerung des Elaſticitätscoefficienten, und zwar vermöge ſeiner eigenen Wirkung, unabhängig von der Verringerung, welche durch die Temperaturerhöhung entſteht. Dieſe Verringerung verſchwindet gänzlich mit dem Strom, wie lange er auch gewirkt haben mag.

2) Die Größe dieſer Verringerung hängt von der Stromſtärke und wahrſcheinlich auch von dem Leitungswiderſtand des Metalles ab.

3) Die Cohäſion der Drähte wird durch den Strom verringert; die Veränderlichkeit dieſer Verringerung erlaubt jedoch nicht zu unterſcheiden, ob ſie eine eigene Wirkung des Stromes ſey, oder nur eine Folge der Temperaturerhöhung.

4) Die Magnetiſirung durch einen continuirlichen Strom bewirkt im weichen Eiſen und im Stahl eine kleine Verringerung des Elaſticitätscoefficienten, und dieſe Verringerung bleibt zum Theil ſelbſt nach der Unterbrechung des Stromes.

242 **Elektromagnetiſche Rotation des Queckſilbers.** Ueber dieſe intereſſante Erſcheinung hat Poggendorff in ſeinen Annalen (LXXVII, 1) einige neue Beobachtungen publicirt. Der Beſchreibung ſeiner Verſuche geht eine kurze hiſtoriſche Einleitung voraus, aus welcher, der beſſeren Orientirung wegen, das Wichtigſte hier Platz finden mag.

Humphry Davy hat zuerſt die Rotation eines beweglichen Leiters um einen Magnetpol beobachtet, nämlich die Rotation des galvaniſchen Flammenbogens. (Hiernach iſt die auf Seite 416 gemachte Mittheilung zu berichtigen, wonach Walcker die erſte Notiz von der Rotation des Flammenbogens gegeben habe.) Er beſchrieb die Erſcheinung in einer am 5. Juli 1821 in der königlichen Geſellſchaft zu London geleſenen Abhandlung, ging indeß ſo kurz über dieſelbe weg, daß ſie wohl nicht viel Beobachtung gefunden haben würde, wenn nicht Faraday im September deſſelben Jahres in der Wechſelwirkung eines ſtarren Stromleiters und eines Magnetſtabes ein viel einfacheres und mannichfacher Abänderungen fähiges Mittel zur Hervorbringung continuirlichen Rotationen des Leiters oder des Magneten kennen gelehrt hätte. Schon im November darauf wurde dieſe wichtige Entdeckung auf die Fälle ausgedehnt, wo der Magnetſtab entweder durch den Erdmagnetismus oder durch einen zweiten ſtarren Stromleiter erſetzt iſt. — Im Jahre 1823 zeigt Humphry Davy, daß auch ein flüſſiger metalliſcher Leiter, Queckſilber oder geſchmolzenes Zinn, unter gleichen Umſtänden wie ein ſtarrer in elektromagnetiſche Drehung verſetzt werden kann, eine Thatſache, welche ſpäterhin auch bei nicht metalliſchen flüſſigen Leitern nachgewieſen wurde.

So raſch dieſer Kreis von Erſcheinungen in experimenteller Hinſicht durchforſcht worden iſt, ſo ſchnell hat er auch in theoretiſcher Beziehung ſeine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht vorausſehend, hat ſie ſehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamiſchen Geſetze zurückgeführt, und wenn auch ſeine Erklärung nicht vollſtändig iſt, ſo enthält ſie doch die Grundzüge der richtigen Theorie.

Davy ſtellte ſeine Verſuche zuerſt in der Art an, daß er in eine mit Queckſilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer ſehr kräftigen Volta'ſchen Batterie lothrecht hinabgehen ließ, und nun von unten oder oben her einen Magnetpol näherte. — Das Queckſilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengeſetzter Richtung.

Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieſelben ſo weit mit Siegellack, daß nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblößt blieben und mit dem Queckſilber in Berührung kamen, von welchem ſie nur etwa eine Linie hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Queckſilbers auch ohne Magnet, nur nicht ſo ſtark, zum Vorſchein, und über den beiden Drahtenden zeigte ſich eine Hebung des Queckſilbers von 1 bis 2 Linien, es bildeten ſich alſo zwei Kegel, von deren Gipfel das flüſſige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloß. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten dieſe Kegel bis zum Spiegel des Queckſilbers abgeflacht, ja ſogar eine Vertiefung hervorgebracht werden, während die Maſſe zugleich ſchneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Anſicht, entſpringt die Hebung des Queckſilbers über den Enden der Polardrähte, aus der Repulſion, welche, nach Ampère's Theorie, die Theile eines Stromes in der Richtung ſeiner ſelbſt, auf einander ausüben.

Die Depreſſion des Queckſilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt ſich einfach durch die bei der raſchern Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

Um dieſe Depreſſion auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr Poggendorff folgendermaßen: In ein Uhrglas oder Porcellanſchälchen wird etwa eine Unze Queckſilber gegoſſen und das Gefäß auf eine verticalſtehende Drahtrolle geſetzt, die einen Eiſenkern umſchließt; für dieſe Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines Uförmigen Elektromagneten in Anwendung bringen, deſſen Pole nach oben ſtehen. — In das flüſſige Metall werden nun zwei Drähte von Eiſen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Maſſe, und zwar der letztere ſo, daß er nur etwa $1/2$ Linie in das Queckſilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvaniſchen Kette durch die Windungen der Magnetiſirungsſpirale und dann durch den einen der beſprochenen Drähte in das Queckſilber ein-, durch den andern Draht herauszuleiten, ſo tritt beim Schließen der Kette ſogleich eine lebhafte Rotation des Queckſilbers ein.

Im erſten Moment geſchieht die Rotation um beide Drähte in entgegengeſetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht,

wegen ſeiner vortheilhaftern Stellung, und nun hat man alſo nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch dieſe Rotation erzeugten Centrifugalkraft ſenkt ſich das Queckſilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht iſt, kommt bald ein Moment, wo das Queckſilber ſich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeſchwindigkeit des Queckſilbers nimmt nun allmälig ab, es ſteigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem neutralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geſchwindigkeit von Neuem beginnt.

Bei dieſem Vorgang hat man zu bemerken Gelegenheit, daß allemal, wenn das Queckſilber den centralen Draht verläßt, ein Funken erſcheint, niemals aber, wenn es wiederum mit ihm in Berührung tritt, was augenſcheinlich beweiſt, daß der ſo häufig beſprochene galvaniſche Schließungsfunken nicht exiſtirt.

Ferner beobachtete Poggendorff bei dieſer Rotation des Queckſilbers noch folgende merkwürdige Erſcheinung. Als der centrale Draht ſo tief eingeſenkt war, daß eine Trennung des Queckſilbers von demſelben nicht ſtattfand, dauerte die Rotation des Queckſilbers je nach Umſtänden 5, 10 oder 15 Minuten unverändert fort. Nach und nach verlangſamt ſich aber die Geſchwindigkeit, die Theilchen rotiren nicht mehr getrennt, mit ungleicher Geſchwindigkeit, wie Anfangs, ſondern gleichſam zuſammenhängend, wie wenn die Oberfläche des Queckſilbers eine ſtarre Scheibe bildete. Immer träger wird die Rotation dieſer Scheibe, und am Ende hört ſie ganz auf. Dabei hat der Strom, wie man ſich leicht überzeugen kann, nichts von ſeiner Stärke verloren; ja man kann ihn ſogar verſtärken, ohne daß ſich das Queckſilber wieder in Bewegung ſetzt. Poggendorff überzeugte ſich, daß dies Phänomen ſeinen Sitz nur an der Oberfläche, nicht in der Maſſe des Queckſilbers habe, denn wenn man unter gehörig ſchiefem Winkel auf das Metall blickt, ſo erkennt man deutlich an einer gewiſſen Wellenbewegung, daß die Rotation im Innern der Maſſe unverändert fortdauert. Es iſt alſo klar, daß bloß die Oberfläche des Queckſilbers eine Veränderung erlitten haben mußte.

Für dieſe Anſicht ſpricht auch der Umſtand, daß unbeweglich gewordenes Queckſilber, in einer Flaſche geſchüttelt, ſeine frühere Beweglichkeit wieder erhält.

Um zu unterſuchen, ob auch wäſſerige Flüſſigkeiten eine ähnliche Verfeſtigung ihrer Oberfläche erleiden, bediente ſich Poggendorff eines dem frühern ähnlichen Apparates, nur daß die beiden Poldrähte durch zwei winkelförmige Metallſtreifen erſetzt wurden, deren horizontale Schenkel ringförmig gekrümmt waren. Der eine dieſer Ringe ſchloß dicht an den Rand des etwa 2 Zoll im Durchmeſſer haltenden Schälchens, der

andere ſtand in der Mitte deſſelben und hatte ungefähr 3 Linien im Durchmeſſer. Bei Verbindung der lothrechten Schenkel mit der Batterie ging der Strom durch die Flüſſigkeit radialiter, entweder vom kleineren zum größeren Ringe, oder umgekehrt. Ein Verſuch wurde mit verdünnter Schwefelſäure und Ringen von amalgamirtem Zink, ein anderer mit Kupfervitriol-Löſung und Ringen von Kupfer angeſtellt.

Beide Flüſſigkeiten nahmen ſchon mit Hülfe des Stromes eines einzigen Grove'ſchen Bechers eine lebhafte Rotation an, welche durch aufgeſtreutes Lycopodium deutlich zu erkennen war. Nach 24 Stunden hatte die Rotationsfähigkeit der Oberfläche noch nichts an ihrer Stärke verloren.

Um von dem rotirenden Queckſilber die Luft abzuhalten, übergoß Poggendorff daſſelbe einige Linien hoch ſucceſſiv mit Mandelöl, Terpentinöl, Schwefelkohlenſtoff, Aether, Alkohol und deſtillirtem Waſſer. Unter dieſen entweder gar nicht oder doch nur ſehr ſchlecht leidenden Flüſſigkeiten kam die Oberfläche des Queckſilbers nicht zur Rotation; wurden aber dem Waſſer einige Tropfen Säure oder etwas Salz zugeſetzt, ſo ſtellte ſich ſogleich die Rotation des Queckſilbers ein, während auch die wäſſerige Flüſſigkeit rotirte.

Um den Einfluß von Dämpfen auf die Rotation des Queckſilbers zu unterſuchen, wurden die Zuleitungsdrähte durch Oeffnungen in der Seitenwand des Schälchens eingeführt und durch Korke feſtgehalten. Ein Stück Fließpapier mit der erforderlichen Flüſſigkeit benetzt, wurde über den Rand des Gefäßes ausgebreitet und mit einer Glasplatte bedeckt. Auf dieſe Weiſe konnte die Luft über dem Queckſilber mit verſchiedenen Gaſen und Dämpfen geſchwängert werden.

Terpentinöl-, Alkohol- und Schwefelkohlenſtoffdämpfe gaben keine entſchiedene Wirkung; dagegen hatte Ammoniakgas eine ſo zu ſagen töotende Wirkung auf die Queckſilberoberfläche, indem dieſelbe viel ſchneller als in Luft allein zur Ruhe kam, ohne daß jedoch der Glanz der Queckſilberoberfläche abgenommen hätte.

Noch ſchneller wirkte Schwefeläther; nur wenige Augenblicke brauchte das mit Aether benetzte Papier die Schale zu überdecken, um eine vollſtändige Tödtung der Queckſilberoberfläche zu veranlaſſen, wobei dieſe übrigens ſpiegelblank blieb.

Als ein Stück Phosphor in der Schale aufgehängt wurde, füllte ſie ſich bald mit dem bekannten Nebel, der ſich ſenkte und der Queckſilberoberfläche ſchnell ihre Beweglichkeit raubte.

In entgegengeſetzter Weiſe wirken die Dämpfe flüchtiger Säuren, wie Eſſigſäure, Salzſäure, Salpeterſäure. Ueber einer an der Luft, in Ammoniakgas oder Aetherdampf unbeweglich gewordenen Queckſilber-

fläche braucht nur wenige Augenblicke ein mit ſolcher Säure benetztes Papier ausgebreitet zu werden, um ihr die urſprüngliche Beweglichkeit wieder zu geben. Es iſt dies um ſo auffallender, als in dem Dampf der Salpeterſäure und auch der Salzſäure die Queckſilberoberfläche nicht blank bleibt, ſondern anläuft. Aetherdampf vernichtet die nun eingetretene Lebendigkeit nicht, wohl aber Ammoniakgas.

Waſſerdampf hat keine Wirkung. Ebenſo iſt eine Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit oder eine Austrocknung derſelben durch concentrirte Schwefelſäure ohne allen Einfluß.

Der Apparat wurde nun ſo eingerichtet, daß die über dem Queckſilber befindliche Luft ausgepumpt und durch verſchiedene Gaſe erſetzt werden konnte.

Kohlenſäure und Waſſerſtoffgas zeigten ſich indifferent. Sauerſtoffgas wirkte etwas ſchneller tödtend als atmoſphäriſche Luft. In dem Vacuum, welches eine Handluftpumpe zu liefern im Stande iſt, behielt die Queckſilberfläche mehr als 12 Stunden lang ihre volle Beweglichkeit. Eine unbeweglich gewordene Queckſilberoberfläche wird im Vacuum nicht wieder beweglich.

Poggendorff iſt der Meinung, daß eine ſehr dünne, für das Auge unwahrnehmbare Oxyd- oder Oxydulſchicht als Urſache der relativen Unbeweglichkeit der Oberfläche anzuſehen ſey.

Siebenter Abſchnitt.

Elektrodynamik.

Magnetiſches Moment eines Kreisſtromes. Das Moment eines Kreisſtromes iſt, wie wir auf S. 243 geſehen haben, 243

$$G = \pi r^2 g,$$

wenn g die Stromſtärke nach der Weber'ſchen Stromeinheit bezeichnet; nach unſerer Stromeinheit haben wir

$$G = \pi r^2 s \,.\, 1{,}0477,$$

wenn s die Stromſtärke nach chemiſchem Maaß bezeichnet. Um die Kraft zu erhalten, mit welcher der Erdmagnetismus dieſen Kreisſtrom zu drehen ſtrebt, wenn ſeine Ebene in dem magnetiſchen Meridian fällt, haben wir G noch mit dem horizontalen Theil des Erdmagnetismus, alſo mit T zu multipliciren, wir erhalten alſo für dieſen Drehungsmoment

$$T\pi r^2 s \,.\, 1{,}0477.$$

Hier iſt aber für G und T noch das Weber'ſche abſolute Maaß als Einheit angenommen, ſoll dieſes Drehungsmoment auf die Schwerkraft reducirt werden, ſo haben wir obigen Werth noch mit 9808 zu dividiren, und ſo kommt

$$D = \frac{T\pi r^2 s \,.\, 1{,}0477}{9808} = 0{,}0003432\; Tr^2 s.$$

Dieſer Werth von D giebt in Milligrammen die an einem Hebelarm von 1^{mm} wirkende Kraft an, mit welcher der Erdmagnetismus einen Kreisſtrom von der Stromſtärke s (nach chem. Maaß) zu drehen ſtrebt, deſſen Radius r iſt, wenn T den in abſolutem Maaß ausgedrückten Werth des horizontalen Theiles der magnetiſchen Erdkraft bezeichnet.

Nehmen wir z. B. an, durch 100 Windungen eines überſponnenen Kupferdrahtes ſey ein leicht um eine verticale Axe drehbarer Ring gebildet, deſſen Halbmeſſer im Mittel gleich 100^{mm} iſt; der Strom, welcher dieſe

Drahtwindungen durchläuft, habe nach chemiſchem Maaß die Stärke 10, ſo ergiebt ſich für jede Windung $D = 75{,}5^{mg}$ $(T = 2{,}2)$, für alle zuſammen alſo iſt

$$D = 7550^{mg}$$

Der Erdmagnetismus ſtrebt alſo, den Ring, wenn er auf die fragliche Weiſe durchſtrömt iſt und ſeine Ebene in dem magnetiſchen Meridian fällt mit einer am Hebelarm 1^{mm} angreifenden Kraft von 7550 Milligramm, oder, was daſſelbe iſt, mit einem am Umfang des Ringes wirkenden Kraft von 75,5 Milligramm zu drehen.

244 **Weber's elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen.** Das Geſetz, nach welchem die Theilchen ab und cd zweier Stromleiter auf einander wirken, iſt nach Ampère durch die Gleichung

$$-\frac{i\,i'}{r^2}\,(cos.\ \varepsilon - \tfrac{3}{2}\,cos.\ \Theta\ cos.\ \Theta')\,s\,s'$$

ausgedrückt, d. h. dieſe Gleichung drückt die Größe der Kraft aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgeſetzt, daß r die Entfernung dieſer Mittelpunkte, i die Stromſtärke in dem einen, i' die im anderen Stromelemente, s aber die Länge des einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es iſt ferner ε der Winkel, welchen cd mit ab macht, Θ der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht.

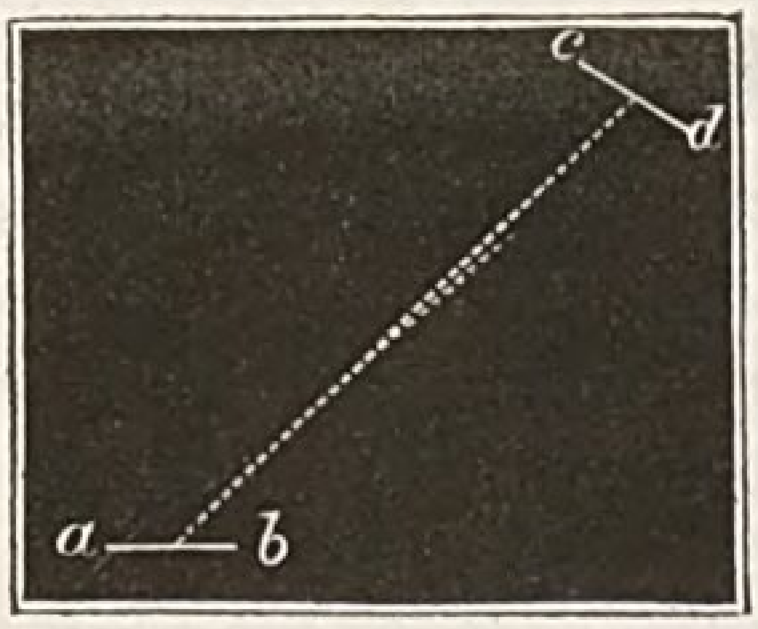


Fig. 231.

Ampère hat ſeine Theorie aus verhältnißmäßig ſehr mangelhaften Verſuchen abgeleitet; oft hat er auf negative Reſultate gebaut und alle ſeine Verſuche ſind nur qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Meſſungen waren ſeine Apparate freilich nicht brauchbar.

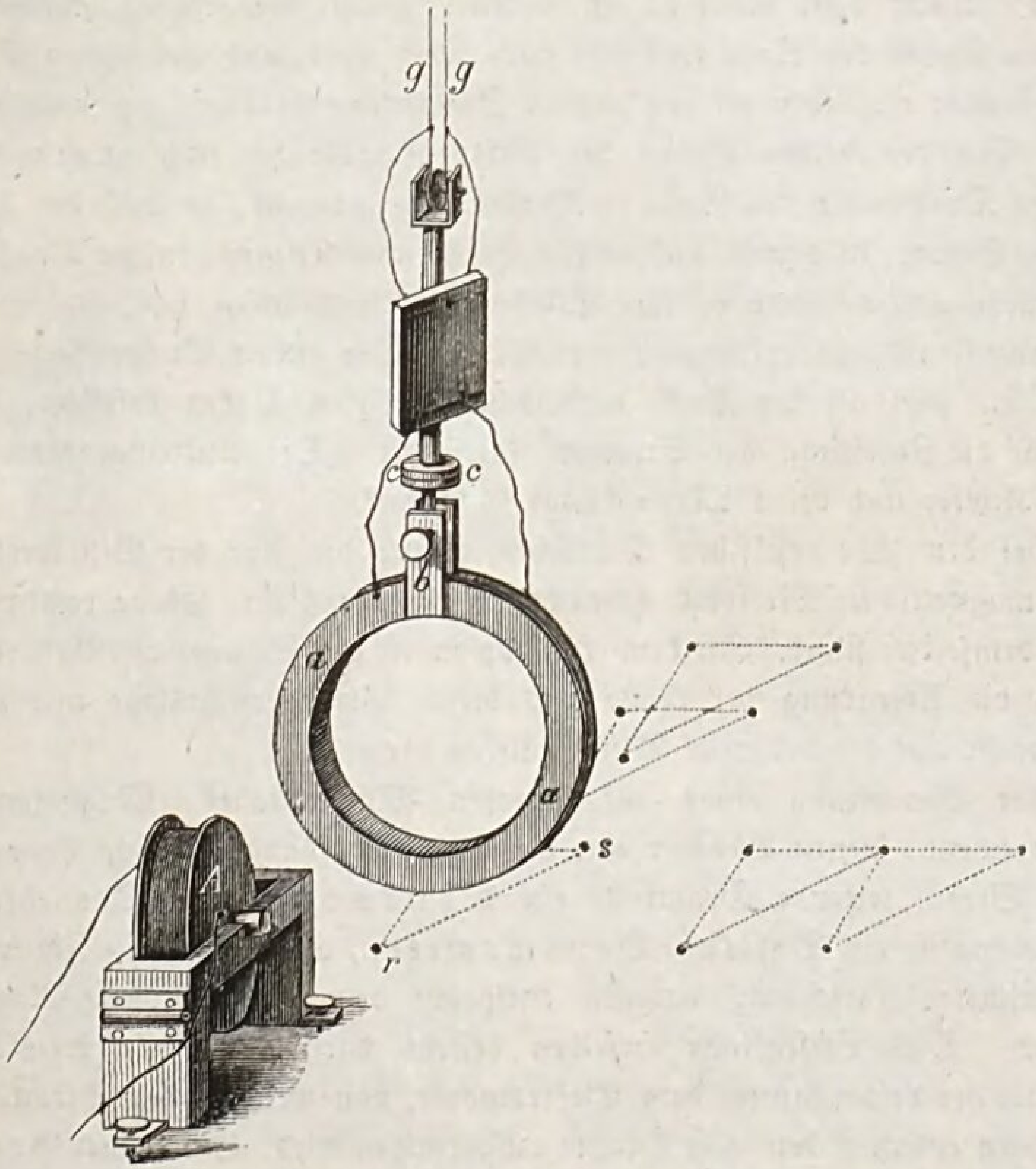
Seit Ampère iſt zur experimentellen Begründung und Fortbildung nichts weiter gethan worden, bis W. Weber den Gegenſtand wieder aufnahm und durch ſeine ausgezeichneten Arbeiten eine merkliche Lücke in der Wiſſenſchaft ausfüllte.

W. Weber's elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen finden ſich ausführlich in den von der Jablonowskiſchen Geſellſchaft bei Begründung der königl. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften herausgegebenen Abhandlungen (Leipzig 1846); kürzer in Poggendorff's Annalen, Bd. LXXIII, S. 193.

Der Hauptgrund, weshalb ſich die Ampère'ſchen Apparate nicht zu Meſſungen überhaupt, am wenigſten aber nicht zu feineren Meſſungen eignen, liegt darin, daß die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter zu überwinden hat, viel zu bedeutend iſt. Weber hat dieſe Schwierigkeit dadurch umgangen, daß er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvaniſchen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer ſolchen Bifilarrolle ſieht man in Fig. 232 abgebildet. Die Bifilarrolle a beſteht aus einem dünnen

Fig. 232.



Meſſingringe von 100^{mm} Durchmeſſer und 30^{mm} Breite, welcher zwei parallele Meſſingſcheiben von 123^{mm} äußerem und 100^{mm} innerem Durchmeſſer verbindet, und in 30^{mm} Abſtand von einander hält. Auf jenem Meſſingring zwiſchen den beiden Scheiben iſt ein Kupferdraht von $\frac{1}{3}$^{mm} Durchmeſſer, der mit Seide überſponnen iſt, ungefähr 3000 mal herum-

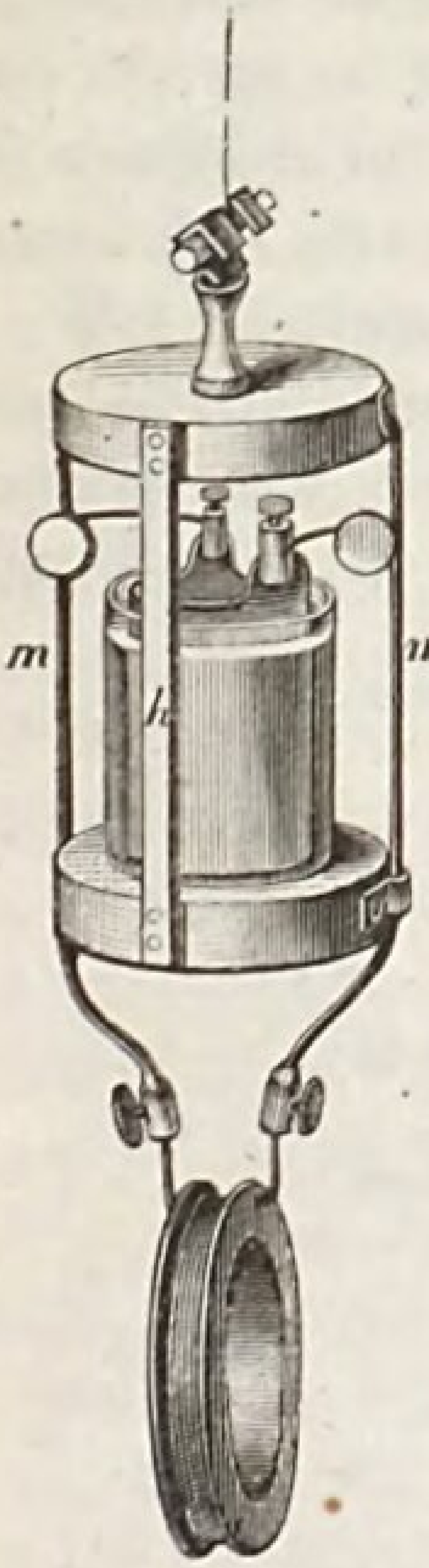
gewunden, ſo daß er den Zwiſchenraum zwiſchen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Meſſingſcheiben durch eine meſſingene Klemme b verbunden, welche in ihrer Mitte den Torſionskreis c trägt. Er beſteht aus zwei (bei verticaler Stellung der Bifilarrolle) horizontalen Scheiben, von denen die untere mit der Bifilarrolle feſt verbunden iſt, während die obere ſich um eine verticale Axe drehen läßt. Der Torſionskreis dient dazu, die Bifilarrolle beliebig drehen und in die erforderliche Stellung bringen zu können, ohne die Aufhängedrähte aus ihrer parallelen Lage zu bringen. Die obere Scheibe des Torſionskreiſes trägt einen hölzernen Zapfen, welcher am oberen Ende eine Gabel mit einer ſehr beweglichen 20^{mm} Durchmeſſer haltenden Rolle trägt. Unter dieſe Rolle iſt ein ſeidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle ſenkrecht nach oben geht und auf beiden Seiten etwas über der Rolle an den beiden Suspenſionsdrähten $g\,g$ angeknüpft iſt. Mit den beiden Enden der Suspenſionsdrähte ſind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, ſo daß der galvaniſche Strom, in einem Aufhängedraht herunterſteigend, in die Drahtrolle übergeht und nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, im anderen Suspenſionsdraht aufſteigend zurückkehrt. Die beiden Suspenſionsdrähte ſind an zwei an der Decke befindlichen iſolirten Haken befeſtigt, durch welche die Zuleitung des Stromes ſtattfindet. Die Aufhängedrähte ſind von Kupfer und bei 1 Meter Länge $1/6^{mm}$ dick.

Bei den Weber'ſchen Verſuchen wurde die Axe der Bifilarrolle in den magnetiſchen Meridian gebracht, ſo alſo, daß ihre Ebene rechtwinklig auf demſelben ſtand. An dem Holzzapfen iſt ein Spiegel befeſtigt, ſo daß man die Ablenkung der Rolle aus dieſer Gleichgewichtslage mit einem Fernrohr auf die bekannte Weiſe ableſen kann.

Der Benennung eines aufgehängten Magnetſtabes (Magnetometer) entſprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer. Das eben beſchriebene iſt ein Bifilar-Dynamometer, die folgende in Figur 233 abgebildete Einrichtung dagegen entſpricht dem gewöhnlichen Magnetometer. Das Weſentliche derſelben beſteht darin, daß der kreisförmig gewundene Leiter ſammt dem Elektromotor, von welchem der Strom ausgeht, an einem Faden oder Drahte aufgehangen wird. Ein kleiner Grove'ſcher Becher ſteht zwiſchen zwei Holzplatten, welche durch zwei Meſſingſtäbchen $m\,m'$ und einem Holzſtab h mit einander verbunden ſind; die dem Stab h gegenüber liegende Seite bleibt frei, damit man den Becher bequem einſtellen kann. In eine Verſtärkung der Stäbchen m und m' ſind die zum poſitiven und negativen Pol führenden Drahtſtücke eingeſchraubt. Die Verlängerungen von m und m' tragen die Drahtrolle.

Dieſe Vorrichtungen laſſen ſich gewiß durch geeignete Abänderungen auch in ſolche Formen bringen, die zwar weniger zu feinen Meſſungen geeignet ſind, aber ſehr gut zu Vorleſungsverſuchen ſtatt des Ampère'ſchen Apparates dienen können.

Fig. 233



Wenn ein galvaniſcher Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, ſo wird es aus ſeiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, ſobald man ihm einen Magnetſtab oder auch eine zweite galvaniſch durchſtrömte Drahtrolle nähert.

Die feſte Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, iſt gleichfalls in Fig. 232 abgebildet. Sie beſteht aus zwei dünnen parallelen Meſſingplatten von 89 Millimeter Durchmeſſer, welche von einer $5\frac{1}{2}$ Millimeter dicken meſſingenen Axe in 30^{mm} Abſtand von einander feſtgehalten werden; dieſe Axe ragt auf beiden Seiten um 10^{mm} vor. Auf dem zwiſchen den beiden Scheiben befindlichen Theil der Axe iſt ein mit Seide überſponnener $\frac{1}{3}^{mm}$ dicker Kupferdraht ungefähr 1000 mal herumgewunden, ſo daß er den Zwiſchenraum zwiſchen beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur feſten Aufſtellung dieſer Rolle dient ein hölzernes Geſtell, welches auf Füßen mit Stellſchrauben ſteht. Der vordere Fuß dieſes Geſtelles kann mittelſt eines Charnieres aufgeſchlagen und dann die feſte Rolle in die bewegliche eingeſchoben und ſo aufgeſtellt worden, daß die drei Stellſchrauben auf die Punkte *r*, *s*, *t* der Tiſchplatte zu ſtehen kommen (*t* iſt in der Figur verdeckt). Bei dieſer Stellung fallen die Mittelpunkte der feſten und der beweglichen Rolle zuſammen. Man kann aber auch die feſte Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall iſt) oder ſüdlich, öſtlich oder weſtlich aufſtellen. Um die feſte Rolle jederzeit leicht in beſtimmten Entfernungen von der beweglichen aufſtellen zu können, ſind auf der Tiſchplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellſchrauben zu ſetzen braucht, damit der Mittelpunkt der feſten Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 Millimeter weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt iſt.

Eine erſte Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der feſten Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zuſammenfallen. Ein und derſelbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feſte Rolle hindurch geleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemeſſen, welche die feſte Rolle an einem nördlich oder ſüdlich

angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Verſuchs iſt aus Fig. 235 erſichtlich. $b\,b$ iſt die Bifilarrolle, $f\!f$ die feſte Rolle und m das

Fig. 234.

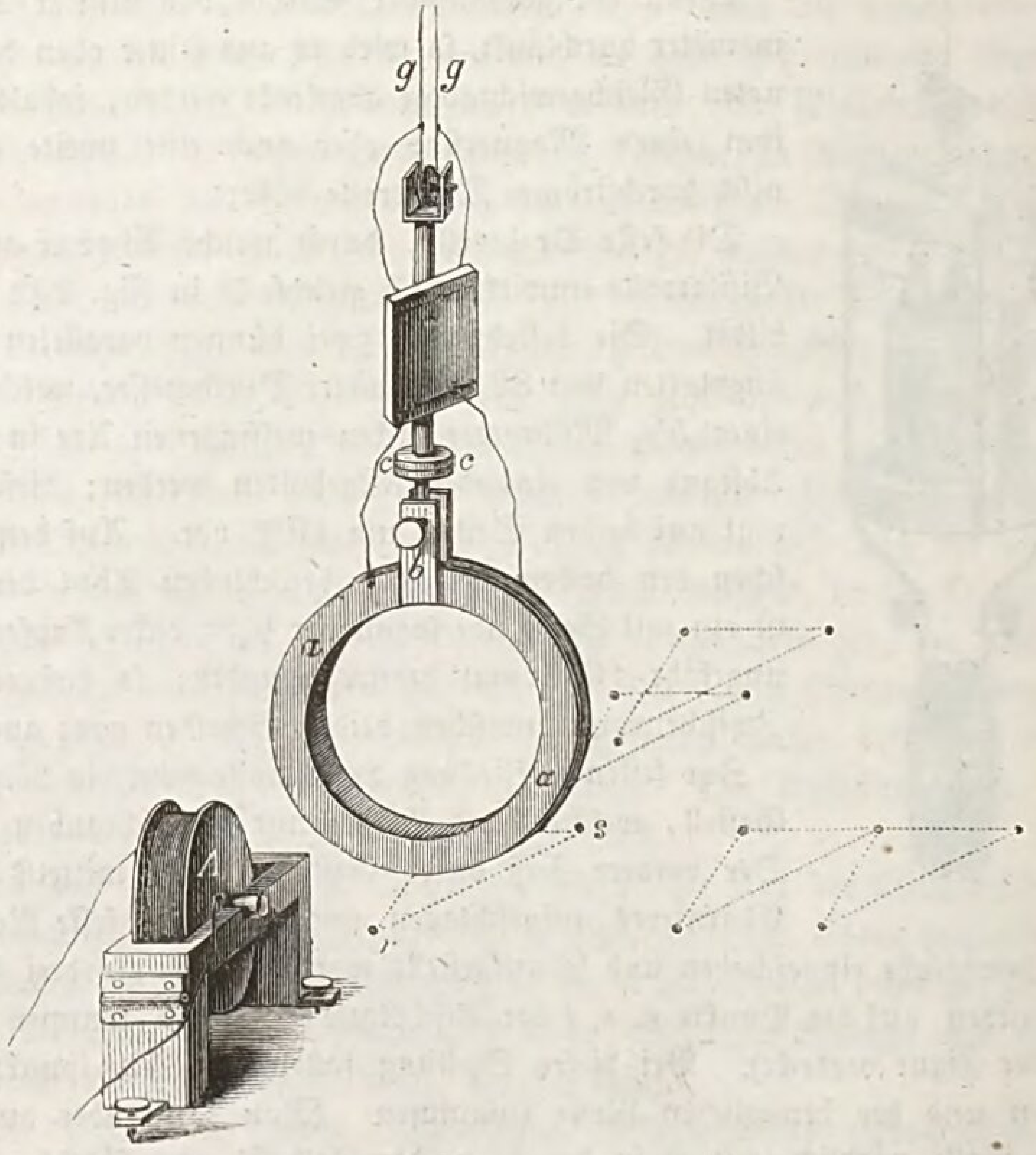
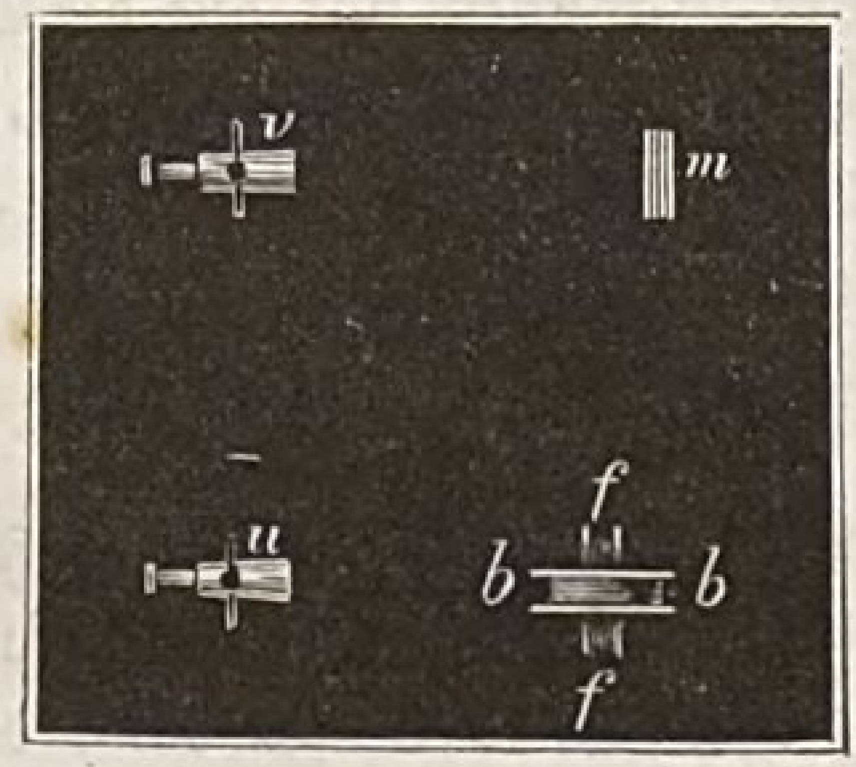


Fig. 235.



Magnetometer, während bei u und v Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von b und m aufgeſtellt ſind.

Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'ſchen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, ſo wird die Ablenkung der Bifilarrolle ſo groß, daß ſie weit über die Gränzen der Beobachtungsſkale hinausgeht, während der Strom der feſten Rolle an dem Magnetometer eine

für die Meſſung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um dieſem Uebelſtande abzuhelfen, brachte *Weber* an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenſchließung an, durch welche die Stromſtärke in der Bifilarrolle im Verhältniß von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der feſten Rolle unverändert bleibt. Freilich iſt jetzt die Stromſtärke in beiden Rollen nicht mehr dieſelbe, die Stromſtärke der einen ſteht aber in einem conſtanten Verhältniß zu der in der anderen

Bei Anwendung von 1, 2 und 3 *Grove*'ſchen Bechern wurden für die correſpondirenden Ablenkungen der Bifilarrolle und des Magnetometers nach den erforderlichen Reductionen folgende Mittelwerthe erhalten:

Zahl der *Grove*'ſchen Becher.	Ablenkungen	
	des Magnetometers.	des Dynamometers.
3	108,43	440,04
2	72,40	198,25
1	36,33	50,91

Bezeichnet man die Ablenkungen der Bifilarrolle mit δ, die des Magnetometers mit γ, ſo ergiebt ſich

$$\gamma = 5{,}15534 \sqrt{\delta},$$

denn berechnet man nach dieſer Formel die Werthe von γ aus den beobachteten Werthen von δ, ſo erhält man der Reihe nach

108,14
72,59
36,77,

was mit den beobachteten Werthen ſo nahe zuſammenfällt, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen:

Daraus folgt nun, daß die *elektrodynamiſche Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intenſität gehen, dem Quadrate dieſer Intenſität proportional iſt*, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgeſetzt iſt.

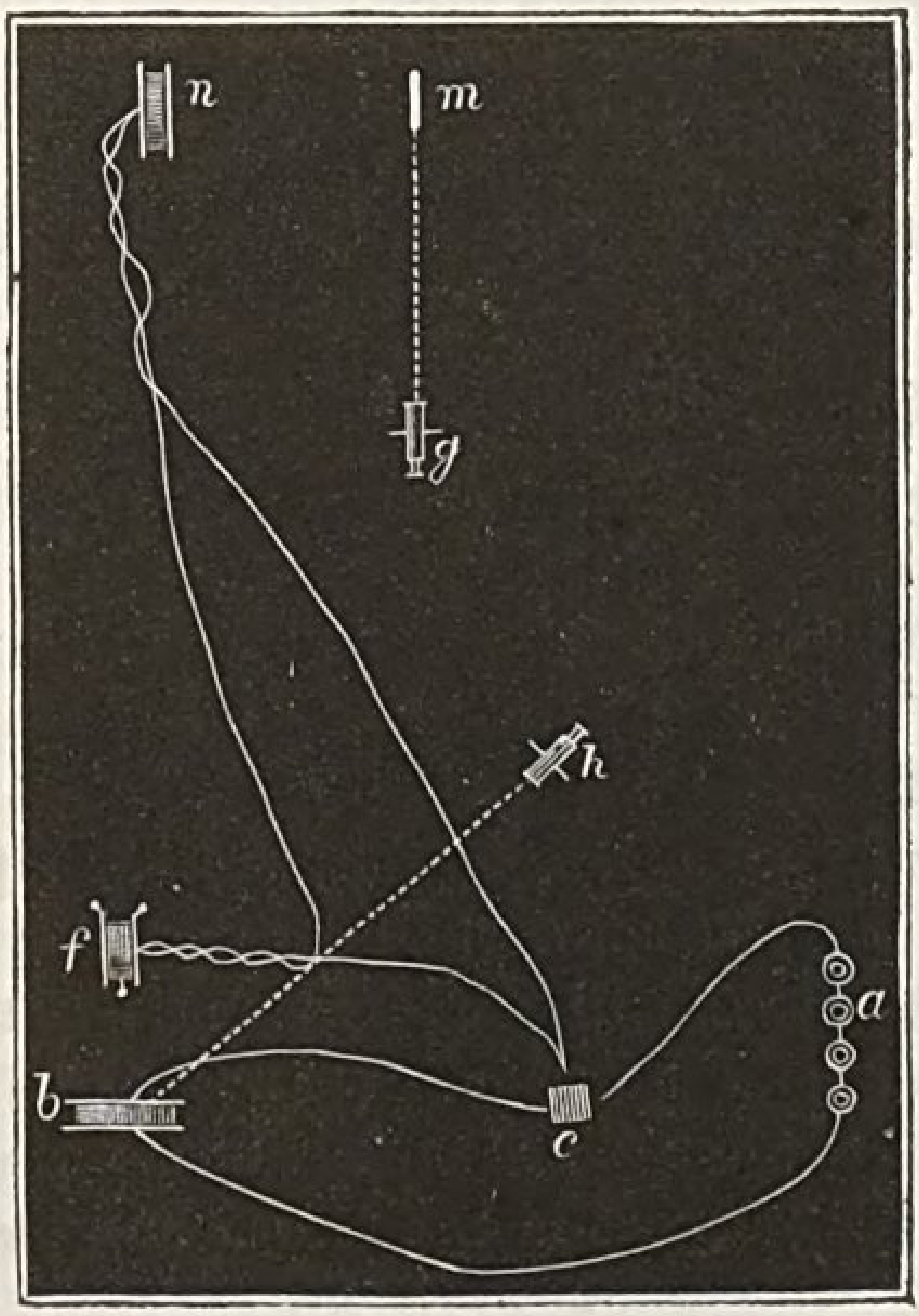
Hierauf folgte nun eine größere Verſuchsreihe, um zu erforſchen, auf welche Weiſe die elektrodynamiſche Kraft, mit welcher die beiden Rollen

auf einander wirken, von ihrer gegenſeitigen Lage und Entfernung abhängt.

Zu dieſem Zweck wurde die feſte Rolle der Reihe nach nördlich, öſtlich, ſüdlich und weſtlich von der Bifilarrolle aufgeſtellt, wie dies ſchon oben auseinandergeſetzt worden iſt. Dieſes Syſtem der Anordnung verſchiedener Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entſpricht, wie man leicht ſieht, genau dem Syſtem der Anordnung verſchiedener Lagen und Entfernungen der beiden Magnete, welche Gauß ſeinen Meſſungen zu Grunde gelegt hat, um das Grundprincip des Magnetismus zu erweiſen. Der bifilar aufgehangene Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feſte Rolle die Stelle des Ablenkungsſtabes.

Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muß aber auch die Stromſtärke gemeſſen werden. Auf die bei der vorigen Verſuchsreihe angewandte Weiſe kann dies hier nicht geſchehen, weil die Stellung der feſten Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich feſt ſtehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemeſſen, welche dieſe an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung iſt aus Fig. 236 zu erſehen.

Fig. 236.



b iſt die Bifilarrolle, f die feſte Rolle, m ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von b entfernt iſt, n eine dritte, gleichfalls feſt aufgeſtellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvaniſchen Säule a zur Bifilarrolle, von dieſer zum Commutator c, dann über die Rolle f zur Rolle n, von dieſer zurück zum Commutator und von dieſem endlich zum anderen Pol der Säule.

Durch den Commutator kann alſo die Stromrichtung in f und n geändert werden, während ſie in der Bifilarrolle b ſtets dieſelbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenſeitigen Lage und Entfernung der beiden

Drahtrollen f und b die Stellung von m und b für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in f und n mittelſt des Commutators umgekehrt und nochmals die Stellung von b und m abgeleſen. Die Differenz der beiden Ableſungen am Magnetometer iſt dann das Maaß für die Stromſtärke, die Differenz der beiden Ablenkungen am Dynamometer geben ein Maaß für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen b und f auf einander wirken.

Da wir nun wiſſen, daß die elektrodynamiſche Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromſtärke proportional ſind, ſo iſt man, vermöge der am Magnetometer gemachten Meſſungen der Stromſtärke, im Stande, die gemeſſenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromſtärke zu reduciren.

Die folgende Tabelle giebt nun in kurzer Ueberſicht die ſo reducirten Mittelwerthe, welche für die verſchiedenen Lagen und Entfernungen erhalten werden. In der erſten Verticalreihe ſteht die Entfernung der Mittelpunkte von b und f; die folgenden Columnen enthalten die entſprechenden Ablenkungen der Bifilarrolle unter den in der Ueberſchrift angegebenen Lagen, und zwar für gleiche Stromſtärke.

Abſtand in Millimetern.	Nördlich.	Oeſtlich.	Südlich.	Weſtlich.
300	77,16	189,14	77,06	190,62
400	34,78	77,61	34,77	77,28
500	18,17	39,37	18,30	39,16
600	—	22,53	—	22,38

Man ſieht zunächſt aus dieſer Tabelle, daß die für gleiche Entfernung in entgegengeſetzten, um 180° verſchiedenen Richtungen enthaltenen Reſultate ſo weit übereinſtimmen, als die Beobachtungen verbürgt werden können.

Setzt man für dieſe ſehr nahe gleichen Werthe ihr Mittel, ſo erhält man nach Verwandlung der Scalentheile in Grade, Minuten und Secunden folgende Tafel:

r	v	v'
0,3	0° 49′ 22″	0° 20′ 3″
0,4	0 20 8	0 9 2
0,5	0 10 12	0 4 44
0,6	0 5 50	

worin dieſelbe Bezeichnung gebraucht iſt, deren ſich Gauß in der Intensitas vis magneticae (Pogg. Ann. 1833. Bd. 28, S. 604; mein Lehrbuch der Phyſik 3te Aufl. 2ter Bd., S. 38) bei der Zuſammenſtellung der magnetiſchen Beobachtungen bedient hat. Was die Elemente betrifft, deren Kenntniß zur Ausführung dieſer Reduction nöthig ſind, ſo muß ich auf die Originalabhandlung verweiſen.

Nach dem Grundprincip der Elektrodynamik ſollen ſich nun hier wie dort die Tangenten der Ablenkungswinkel v und v' nach den fallenden ungeraden Potenzen von r entwickeln laſſen, und zwar ſoll

$$tang.\, v = \frac{a}{r^3} + \frac{b}{r^5}$$

$$tang.\, v' = \frac{a}{2r^3} + \frac{c}{r^5}$$

geſetzt werden können, wo a, b und c aus den Beobachtungen zu beſtimmende Conſtanten ſind. Setzt man in unſerem Falle

$$tang.\, v = \frac{0{,}0003572}{r^3} + \frac{0{,}000002755}{r^5}$$

$$tang.\, v' = \frac{0{,}0001786}{r^3} + \frac{0{,}000001886}{r^5},$$

ſo ergiebt ſich folgende Tafel berechneter Ablenkungen und deren Unterſchiede von den beobachteten

r	v	Unterſchied.	v'	Unterſchied.
0,3	0° 49′ 22″	0″	0° 20′ 4″	— 1″
0,4	0 20 7	+ 1	0 8 58	+ 4
0,5	0 10 8	+ 4	0 4 42	+ 2
0,6	0 5 49	+ 1	—	—

In dieſer Uebereinſtimmung der berechneten Werthe mit den beobachteten findet ſich alſo eine der allgemeinſten und wichtigſten Conſequenzen des Grundprincips der Elektrodynamik beſtätigt, daß nämlich für die elektrodynamiſchen Wirkungen in die Ferne gleiche Geſetze gelten wie für die magnetiſchen.

Bei dieſer Uebertragung der magnetiſchen Geſetze auf die elektrodynamiſchen Beobachtungen, werden die Werthe dreier Conſtanten aus den Beobachtungen ſelbſt abgeleitet, was nicht nöthig iſt, wenn man auf das Grundprincip der Elektrodynamik ſelbſt zurückgeht und daraus unmittelbar berechnet, welche Reſultate demnach die Beobachtungen hätten geben ſollen.

Von der Ausführung dieſer Rechnung ſelbſt müſſen wir hier abſtrahiren, weil ſie mehr mathematiſche Hülfsmittel erfordert, als für den Standpunkt dieſes Werkes zuläſſig ſind; ich muß in dieſer Beziehung wieder auf die Originalabhandlung verweiſen, wo gezeigt iſt, daß die beobachteten Ablenkungen mit den direct aus dem Ampère'ſchen Geſetz abgeleiteten ſo weit übereinſtimmen, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen.

Beſtimmung der Dauer momentaner Ströme mit dem Dynamometer. 245 Weber hat von ſeinem Dynamometer eine ſehr ſinnreiche Anwendung gemacht, um die Dauer momentaner Ströme zu ermitteln. — Wenn die Stärke eines fortdauernden conſtanten Stromes beſtimmt werden ſoll, ſo kann man ſich dazu ſowohl eines Galvanometers, alſo eines Inſtrumentes bedienen, in welchem durch den Strom eine Magnetnadel oder ein Magnetſtab abgelenkt wird, oder auch des Dynamometers, bei welchem der Magnetſtab durch eine bewegliche Drahtrolle erſetzt iſt. Iſt aber der Strom, deſſen Stärke beſtimmt werden ſoll, bloß von momentaner Dauer, ſo reicht die Beobachtung eines dieſer beiden Inſtrumente nicht hin, weil die beobachtete Ablenkung nicht bloß von der Stromſtärke, ſondern auch von der Dauer des Stromes abhängt. In einem ſolchen Falle iſt es alſo, um die Stromſtärke kennen zu lernen, nothwendig, auch die Dauer des Stromes zu ermitteln.

Die beiden Inſtrumente, nämlich das Galvanometer (in unſerm Falle ein Magnetometer) und das Dynamometer, ergänzen nun einander ſo, daß, wenn derſelbe momentane Strom gleichzeitig durch beide hindurch geht, aus der beobachteten Ablenkung beider Inſtrumente ſowohl die Stärke, als auch die Dauer des momentanen Stromes beſtimmt werden kann. Dieſe wechſelſeitige Ergänzung gründet ſich darauf, daß die beobachtete Ablenkung beider Inſtrumente von der Dauer des momentanen Stromes in gleicher Weiſe abhängt, nämlich derſelben proportional iſt, während die Ablenkung des Galvanometers der Stromſtärke, die Ablenkung des Dynamometers aber (vorausgeſetzt, daß derſelbe Strom gleichzeitig durch die feſte und die bewegliche Rolle geht) dem Quadrat der Stromſtärke proportional iſt.

Bezeichnet e die Ablenkung, welche am Galvanometer durch einen Strom von der Stärke i hervorgebracht wird, welcher während des kleinen Zeittheilchens t wirkte, ſo iſt

$$e = nit \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

während die durch denſelben Strom am Dynamometer hervorgebrachte Ablenkung

$$\varepsilon = o i^2 t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

iſt, wo n und o conſtante Factoren ſind.

Dividirt man mit der Gleichung 2) in die aufs Quadrat erhobene Gleichung 1), ſo ergiebt ſich

$$t = \frac{o e^2}{n^2 \varepsilon},$$

es handelt ſich alſo nur noch darum, die conſtanten Factoren o und n gehörig zu ermitteln, um auf dieſem Wege die Zeitdauer momentaner Ströme beſtimmen zu können. Zu dieſem Zweck müſſen wir aber etwas weiter ausholen.

Die Geſchwindigkeit, welche dem Magnetometer durch einen Strom von der Stärke i während des Zeittheilchens t (welches ſehr klein iſt gegen die Dauer einer Oscillation des Magnetometers) mitgetheilt wird, iſt

$$\frac{am}{p} it,$$

wenn a einen conſtanten Factor, m das magnetiſche Moment des Magnetſtabes und p ſein Trägheitsmoment bezeichnet Ebenſo iſt die Geſchwindigkeit, welche derſelbe Strom während derſelben kurzen Zeit der Bifilarrolle mittheilt,

$$\frac{b}{q} i^2 t,$$

wenn b ebenfalls einen conſtanten Factor und q das Trägheitsmoment der Bifilarrolle bezeichnet.

Dieſe Geſchwindigkeit, mit welcher die beiden Inſtrumente aus ihrer Gleichgewichtslage herausgetrieben werden, läßt ſich aber auch noch aus der beobachteten Elongation und der (für den Fall, daß kein Strom auf ſie einwirkt und keine Dämpfung ſtattfindet) beobachteten Schwingungsdauer derſelben berechnen; ſie iſt nämlich für das Magnetometer

$$\frac{e\pi}{s},$$

für das Dynamometer

$$\frac{\varepsilon\pi}{\sigma},$$

wenn e und ε die frühere Bedeutung haben und s die Schwingungsdauer des Magnetometers, σ die der Bifilarrolle bezeichnet. π iſt die Ludolf'ſche Zahl 3,14*).

---

*) Die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Pendel ſeine Gleichgewichtslage paſſirt, um zur Höhe h anzuſteigen, iſt bekanntlich

$$v = \sqrt{2gh} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a)$$

Daraus ergeben ſich denn folgende Gleichungen

$$\frac{am}{p} i t = \frac{e\pi}{s}$$

und

$$\frac{b}{q} i^2 t = \frac{\varepsilon\pi}{\sigma}$$

und durch Combination beider

$$t = \frac{\pi b p^2 \sigma}{a^2 m^2 q s^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon}$$

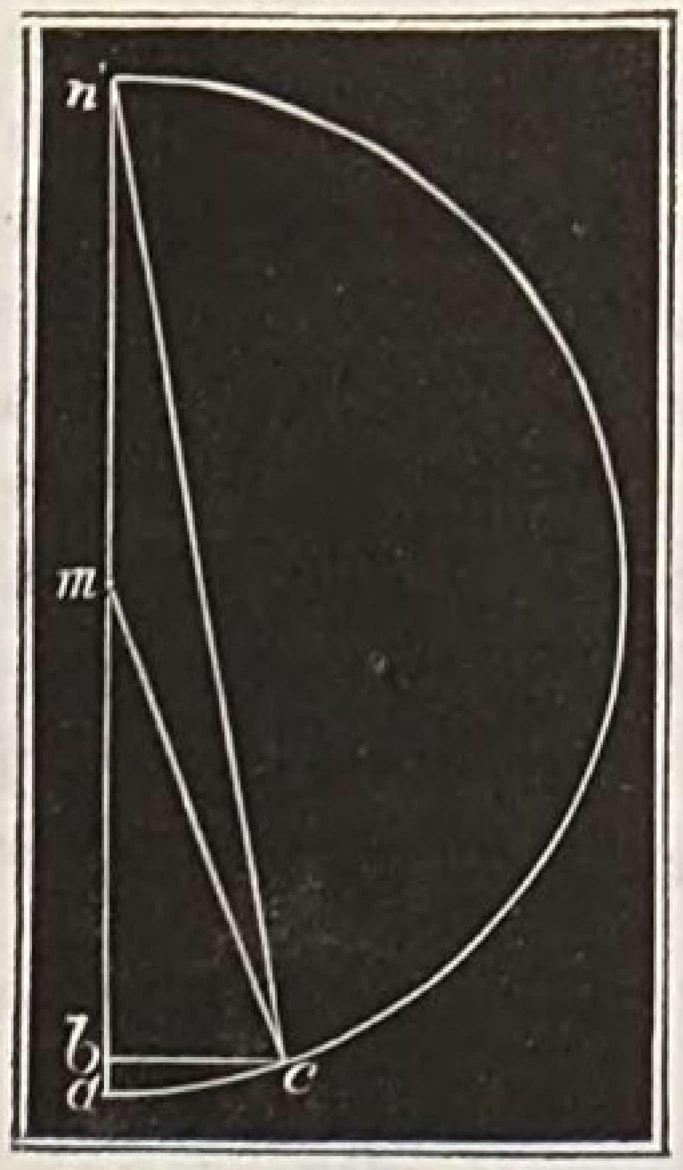
und

$$= \frac{am}{b} \cdot \frac{q}{p} \cdot \frac{s}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon}{e} \,.$$

Um die Conſtanten a und b wegzuſchaffen, muß nun noch eine weitere Beobachtung gemacht werden; man muß nämlich die Ablenkungen e' und ε' beobachten, in welchen beide Inſtrumente verharren, wenn durch beide derſelbe conſtante Strom von der Stärke 1 geht. Der Werth von e' muß nun gleich ſeyn dem Quotienten, welchen man erhält, wenn man die ablenkende Kraft am durch die Directionskraft des Magnetometers dividirt. Dieſe Directionskraft ergiebt ſich aber aus der beobachteten Schwingungszeit s und dem Trägheitsmoment p, ſie iſt $\frac{\pi^2 p}{s^2}$, mithin haben wir die Gleichung:

In Fig. 237 ſey nun m der Mittelpunkt der Schwingung, ab die Steighöhe, h und ac die Elongation e, ſo iſt bekanntlich ac die mittlere proportionale zwiſchen ab und an, oder es iſt

Fig. 237.



$$h : e = e : 2l$$

wenn l die Pendellänge bezeichnet, und daraus

$$h = \frac{e^2}{2l};$$

ſetzen wir in die Gleichung a) dieſen Werth von h, ſo kommt

$$v = \sqrt{\frac{g e^2}{l}};$$

nun aber iſt bekanntlich $g = \frac{\pi^2 l}{s^2}$, wenn s die Schwingungsdauer des Pendels bezeichnet und folglich

$$v = \sqrt{\frac{\pi^2 l}{s^2} \cdot \frac{e^2}{l}} = \frac{\pi e}{s}$$

Dieſe für das Pendel abgeleitete Beziehung können wir aber ohne Weiteres auf unſern Fall übertragen.

$$e' = am \frac{s^2}{\pi^2 p},$$

ebenſo ergiebt ſich

$$\varepsilon' = \frac{b\sigma^2}{\pi^2 q}.$$

Subſtituirt man nun die aus dieſen beiden Gleichungen für a und b gezogenen Werthe im obigen Werth von t und i, ſo kommt

$$t = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{s^2}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon'}{e'^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon'}$$

$$i = \frac{\sigma}{s} \cdot \frac{e'}{\varepsilon'} \cdot \frac{\varepsilon'}{e}.$$

246 **Wiederholung des Ampère'ſchen Fundamentalverſuchs mit Reibungselektricität, und Meſſung der Dauer des elektriſchen Funkens bei Entladung einer Leidner Flaſche.** Auch zu Verſuchen mit Reibungselektricität hat Weber ſein Dynamometer benutzt. Während die Mittelpunkte beider Drahtrollen zuſammenfielen, wurde das eine Drahtende der beweglichen mit dem einen Drahtende der feſten Rolle verbunden; von den beiden übrigen Drahtenden wurde ſodann das eine zu der äußern Belegung einer Leidner Batterie, das andere zu einer naſſen Schnur geführt, welche an den iſolirten Auslader geknüpft war. Die Batterie wurde geladen und endlich der Auslader dem metallenen Knopfe genähert, welcher mit der innern Belegung der Batterie in Verbindung ſtand. In dem Augenblicke nun, in welchem die Entladung der Batterie durch die naſſe Schnur und die Rollen des Dynamometers ſtattfand, wurde das vorher in Ruhe befindliche Dynamometer in Schwingungen geſetzt, welche oft einen Bogen von mehreren Hundert Scalentheilen umfaßte. Der am Fernrohr ſtehende Beobachter konnte leicht die Größe der erſten Elongation und die Seite, nach welcher ſie erfolgte, beſtimmen.

Die Richtung der Ablenkung ergab ſich als diejenige, welche durch das Ampère'ſche Fundamentalgeſetz ſchon im Voraus beſtimmt war. Somit iſt bewieſen, daß der Ampère'ſche Fundamentalverſuch auch mit dem Strome der gemeinen Elektricität gemacht werden kann.

Als außer dem Dynamometer auch noch ein Galvanometer in den Schließungsbogen eingeſchaltet war, wurden folgende zuſammengehörige Beobachtungen gemacht:

Länge der Schnur	Elongation des Galvanometers $= e$	Elongation des Dynamometers $= \varepsilon$	$\frac{e^2}{\varepsilon}$
2000 mm	79,9	65,6	97,3
1000	76,6	153,0	38,3
500	82,3	293,8	23,0
250	87,3	682,0	11,2
125	93,2	aus der Scala	
250	82,9	609,1	11,3
500	95,6	422,8	21,6
1000	95,8	210,1	43,7
2000	101	98	105,0

Die Regelmäßigkeit dieſer Reſultate macht es wahrſcheinlich, daß bei dieſen Verſuchen mit der naſſen Schnur wirklich alle Elektricität der Batterie durch die Drahtleitung hindurchgehe und darin einen Strom bilde, der dem Strome einer galvaniſchen Säule einigermaßen an Continuirlichkeit vergleichbar ſeyn dünfte. Wäre dies der Fall, ſo könnte man von den vorliegenden Beobachtungen eine wichtige Anwendung machen, indem ſich alsdann die im vorigen Paragraphen entwickelten Regeln darauf anwenden ließen, um die Dauer des Stromes, welche mit der Dauer des Entladungsfunkens als gleich betrachtet werden darf, zu beſtimmen. Um die relativen Zeitmaaße, welche ſchon obige Tabelle in der mit $\frac{e^2}{\varepsilon}$ überſchriebenen Columne beigefügt ſind, auf abſolute zu reduciren, bedarf es nach dem vorigen Paragraphen nur noch eines Verſuches mit einem conſtanten durch beide Inſtrumente gehenden Strome. Weber hat dieſen Verſuch ausgeführt und gefunden, daß man obige Werthe von $\frac{e^2}{\varepsilon}$ mit 1188 zu dividiren habe, um die Dauer des Stromes in Secunden zu erhalten. Hiernach ergeben ſich aus obigen Beobachtungen folgende Mittelwerthe:

Länge der Schnur	Dauer des Funkens
2000 Millimeter	0,0851 Secunden
1000 »	0,0345 »
500 »	0,0187 »
250 »	0,0095 »

Es ergiebt ſich hieraus, daß die Dauer des Funkens der Länge der Schnur faſt proportional iſt.

Dadurch iſt auch die Anſicht gerechtfertigt, welche Rieß über die Dauer des Entladungsfunkens ausgeſprochen hat. (S. Oben S. 122).

246 **Ergänzung des ſtatiſchen Geſetzes der elektriſchen Abſtoßung.** Das Ampère'ſche Geſetz bezieht ſich nur auf die gegenſeitige Wirkung zweier Stromelemente; in unſeren Verſuchen können wir aber nicht die Einwirkung zweier Stromelemente, ſondern nur das gegenſeitige Verhalten geſchloſſener Ströme einer Prüfung unterwerfen; von einer experimentellen Beſtätigung des Ampère'ſchen Geſetzes kann alſo nur indirect die Rede ſeyn. Setzt man voraus, wie es wohl nicht bezweifelt werden kann, daß die Total-Wirkung zweier geſchloſſener Ströme auf einander gleich iſt der Summe der Wirkungen, welche die Elemente des einen geſchloſſenen Stromes auf die Stromelemente des andern ausüben, ſo läßt ſich, von dem Ampère'ſchen Geſetz ausgehend, die gegenſeitige Wirkung geſchloſſener Ströme berechnen, und wenn dieſe berechneten Reſultate mit der Erfahrung übereinſtimmen, ſo kann man auch wieder rückwärts auf die Richtigkeit des Ampère'ſchen Geſetzes ſchließen, und in dieſer Weiſe hat Weber auch durch die genaueſten Meſſungen den experimentellen Beweis für die Gültigkeit des Ampère'ſchen Geſetzes geliefert.

Weber iſt aber hierbei nicht ſtehen geblieben, er hat das Ampère'ſche Geſetz auch noch in einen inneren Zuſammenhang mit den übrigen Grundgeſetzen der Elektricität gebracht, denn von ihm ausgehend, iſt er zur Aufſtellung eines allgemeinen Geſetzes der elektriſchen Wirkung gelangt, welches ſowohl die Elektroſtatik, wie die Elektrodynamik umfaßt und aus welchem ſich denn das Inductionsgeſetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollſtändige Entwickelung des eben angedeuteten Zuſammenhanges findet ſich in der bereits im vorigen Paragraphen citirten Abhandlung, deren Verſtändniß jedoch ziemlich bedeutende mathematiſche Kenntniſſe erfordert. — Herr Profeſſor Weber hatte die Güte, mir brieflich die Grundzüge einer elementaren Entwickelung ſeiner ſchönen Theorie mitzutheilen; es freut mich, dadurch in Stand geſetzt zu ſeyn, meinen Leſern dieſen ſchwierigen Gegenſtand in einer Klarheit und Präciſion vorlegen zu können, die ich ohne dieſe gütige Unterſtützung, für die ich dem verehrten Göttinger Phyſiker meinen aufrichtigſten Dank ſage, vergebens angeſtrebt haben würde. —

Betrachten wir die elektriſchen Fluida in zwei Stromelementen A und B, deren Wechſelwirkung wir unterſuchen wollen, ſo haben wir in denſelben gleiche Mengen poſitiver und negativer Elektricität, welche ſich in jedem Elemente in entgegengeſetztem Sinne bewegen. Dieſe gleichzeitige

entgegengeſetzte Bewegung poſitiver und negativer Elektricität, wie man ſie in allen Theilen eines linearen Drahtes anzunehmen pflegt, kann in der Wirklichkeit zwar nicht exiſtiren, kann aber für unſern Zweck als eine *ideale* Bewegung angeſehen werden, welche in den von uns betrachteten Fällen, wo es ſich bloß um *Wirkungen in der Ferne* handelt, die wirklich vorhandenen Bewegungen hinſichtlich aller in Betracht zu ziehenden Wirkungen *vertritt* und dabei den Vorzug hat, ſich beſſer der Rechnung unterwerfen zu laſſen.

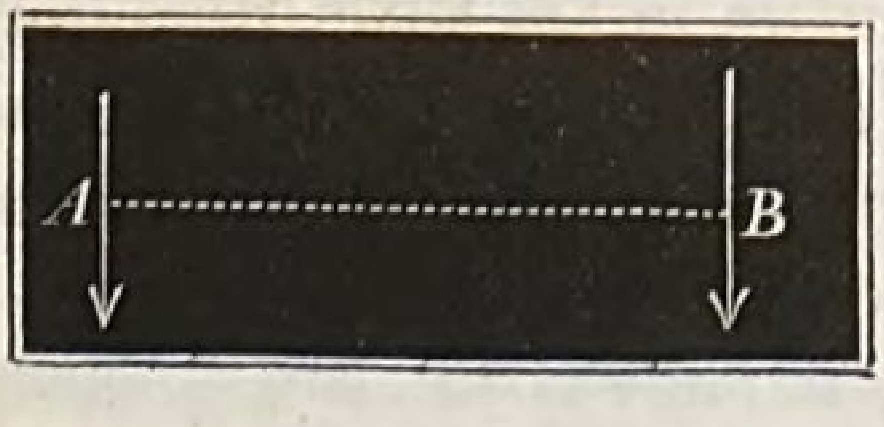
Alsdann haben wir in den *zwei* Stromelementen, die wir betrachten, *vier Wechſelwirkungen* elektriſcher Maſſen, *zwei abſtoßende* zwiſchen den beiden poſitiven und den beiden negativen Maſſen in den Stromelementen, und *zwei anziehende* zwiſchen der poſitiven Maſſe in A und der negativen Maſſe in B, und ferner zwiſchen der negativen Maſſe in A und der poſitiven in B.

Jene beiden *abſtoßenden* Kräfte müßten, wenn die bekannten *elektroſtatiſchen* Geſetze eine *unbedingte Anwendung auf unſern Fall* fänden, den beiden *anziehenden* Kräften *gleich* ſeyn, weil die gleichartigen ſich abſtoßenden Maſſen den ungleichartigen ſich anziehenden gleich ſind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abſtoßend auf einander; wenn alſo irgend ein Zuſammenhang zwiſchen den Grundgeſetzen der Elektroſtatik und der Elektrodynamik ſtattfinden ſoll, ſo muß man annehmen, daß die gegenſeitige Einwirkung elektriſcher Maſſen durch ihren Bewegungszuſtand modificirt werde. Das ſtatiſche Geſetz der elektriſchen Abſtoßung bedarf alſo einer Ergänzung, wenn die Geſetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden ſollen, und dieſe Ergänzung muß aus dem durch die Erfahrung geprüften und beſtätigten Geſetze der elektrodynamiſchen Kräfte gefunden werden, welches *Ampère* aufgeſtellt hat. Dieſe Ergänzung ergiebt ſich auf die einfachſte Weiſe aus der Betrachtung zweier ſpecieller Fälle, welche das Ampère'ſche Geſetz umfaßt, wo dasjenige, was die geſuchte Ergänzung leiſten ſoll, ſich am einfachſten beſtimmen läßt.

Fig. 238 a.

Fig. 238 b.



Der erſte dieſer beiden Fälle iſt der, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der ſie verbindenden Geraden zuſammenfällt, wie dies Fig. 238 a angedeutet iſt; der zweite Fig. 238 b dargeſtellte Fall dagegen iſt der, wo die Richtung beider Elemente parallel iſt und ſenkrecht ſteht zu den ſie verbindenden Geraden.

Dieſe beiden ſpeciellen Fälle haben das mit einander gemein, daß die gleichnamigen Elektricitäten der beiden aufeinander wirkenden Elemente in Größe und Richtung gleiche Bewegung haben und ihre gegenſeitige Lage daher unverändert bleibt. Es folgt daraus, daß auf dieſe gleichnamigen Elektricitäten (trotz ihrer Bewegung) das ſtatiſche Geſetz unveränderte Anwendung findet. Die geſuchte Ergänzung des ſtatiſchen Geſetzes kommt dann bloß für die Wechſelwirkung der ungleichnamigen Elektricitäten in Betracht (welche gleiche aber entgegengeſetzte Bewegung haben) und läßt ſich daher leichter beſtimmen.

Dieſe beiden ſpeciellen Fälle unterſcheiden ſich aber von einander dadurch, daß die entgegengeſetzte Bewegung der ungleichnamigen Elektricitäten im erſten Falle bloß eine relative Geſchwindigkeit ohne Beſchleunigung, im andern Falle bloß eine relative Beſchleunigung ohne Geſchwindigkeit hervorbringt. Betrachten wir dieſe beiden Fälle etwas näher.

Erſter Fall.

α bezeichne die Länge der Stromelemente, i die Stromintenſität, r die Entfernung der beiden Elemente. Nach Ampère iſt ihre Anziehungskraft (wenn ε, Θ, Θ' die Winkel bezeichnen, welche die Richtung der Stromelemente unter einander und mit r bilden)

$$= aa \frac{\alpha\alpha}{r.r} ii \, (cos. \varepsilon - \tfrac{3}{2} \, cos. \Theta \, cos. \Theta')$$

oder weil in dieſem Falle $\varepsilon = \Theta = \Theta' = o$ iſt

$$= -\frac{aa}{2} \frac{\alpha\alpha}{r \cdot r} ii \text{ (Anziehungskraft)}$$

$$= +\frac{aa}{2} \frac{\alpha\alpha}{r \cdot r} . ii \text{ (Abſtoßungskraft).}$$

Betrachtet man aber nun die Elektricitäten in den beiden Elementen und deren Wechſelwirkung, ſo kann man die in einem Elemente enthaltene, ſeiner Länge α proportionale Elektricitätsmenge durch

$$\pm e\alpha$$

darſtellen, wo e diejenige Elektricitätsmenge bezeichnet, welche der Länge $= 1$ entſpricht. Die Geſchwindigkeit, mit welcher dieſe Elektricität ſich bewegt, werde mit

$$\pm u$$

bezeichnet. Es findet nun hier das ſtatiſche Geſetz der Abſtoßung, ſowohl auf die Wechſelwirkung der poſitiven Elektricitäten in den beiden Elementen, als auch auf die der negativen ſeine Anwendung, weil ſie nur eine gemeinſame Bewegung haben, welche ihre gegenſeitige Lage nicht ändert. Jede von dieſen beiden Wechſelwirkungen giebt die Kraft

$$+ \frac{ee}{rr} \alpha \cdot \alpha,$$

alſo zuſammen

$$\frac{2ee}{rr} \cdot \alpha\alpha;$$

dagegen bedarf das ſtatiſche Geſetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil die entgegengeſetzte Geſchwindigkeit, mit welcher ſich beide in derſelben geraden Linie bewegen, eine relative Geſchwindigkeit $v = 2u$ hervorbringt. Ohne dieſe Correction würde ſich aus dem ſtatiſchen Geſetze für jedes Paar die Abſtoßungskraft

$$-\frac{ee}{rr} \cdot \alpha\alpha,$$

alſo zuſammen für beide Paare

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha$$

ergeben. Mit der Correction möge dieſe Kraft durch

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1-x)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechſelwirkungen iſt alsdann

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha - \frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1-x) = +\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,x \text{ (Abſtoßungskraft).}$$

Dieſer Werth iſt dem nach Ampère beſtimmten gleichzuſetzen und daraus iſt x zu beſtimmen. Es iſt alſo

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha x = \frac{aa}{2}\,\frac{\alpha\alpha}{rr}\,ii,$$

folglich

$$x = \frac{aa}{4}\,\frac{ii}{ee}.$$

Nun wird die Stromintenſität i durch die Elektricitätsmenge beſtimmt, welche in der Zeiteinheit durch den Querſchnitt ſtrömt, d. i.

$$i = eu = \tfrac{1}{2}\,ev,$$

folglich

$$x = \frac{aa}{16}vv.$$

Subſtituirt man dieſen Werth von x, ſo erhält man die Abſtoßungskraft zweier elektriſchen Maſſen ε und ε' allgemeiner durch die ſtatiſche Formel mit Hinzufügung der von der relativen Geſchwindigkeit abhängigen Correction beſtimmt

$$= \frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv\right)$$

So führt uns denn dieſer erſte Fall der elektrodynamiſchen Wirkung zwiſchen zwei Stromelementen, wenn wir ihn mit dem elektroſtatiſchen

Grundgeſetz in Beziehung ſetzen wollen, zu der Annahme, daß zwei bewegte elektriſche Maſſen deſto ſchwächer (abſtoßend oder anziehend, jenachdem ſie gleichnamig oder ungleichnamig ſind) auf einander wirken, je größer das Quadrat ihrer relativen Geſchwindigkeit iſt.

Zweiter Fall.

Der zweite Fall unterſcheidet ſich von dem erſten bloß dadurch, daß $\Theta = \Theta' = 90^0$ iſt ($\varepsilon = o$ bleibt wie vorher). Die Anziehungskraft beider Stromelemente iſt alſo nach Ampère

$$aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii\,(cos.\,\varepsilon - {}^3/_2\, cos.\,\Theta\, cos.\,\Theta') = + aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii$$

oder deren Abſtoßungskraft

$$= - aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii.$$

Das ſtatiſche Geſetz der Abſtoßung findet auch hier ſowohl auf die poſitive Elektricität in beiden Elementen, als auch auf die negative Anwendung, weil ſie eine gemeinſame Bewegung haben, welche ihre gegenſeitige Lage nicht ändert. Als Summe dieſer beiden Wechſelwirkungen hat man alſo wieder

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha.$$

Dagegen bedarf das ſtatiſche Geſetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil dieſelben nach entgegengeſetzten Richtungen ſich bewegen, und die corrigirte Abſtoßungskraft der beiden Paare zuſammengenommen kann durch

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1+y)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechſelwirkungen wird dann erhalten

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha - \frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1+y) = -\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha y \text{(Abſtoßungskraft)};$$

wird nun dieſer Werth dem nach Ampère beſtimmten gleichgeſetzt, nämlich

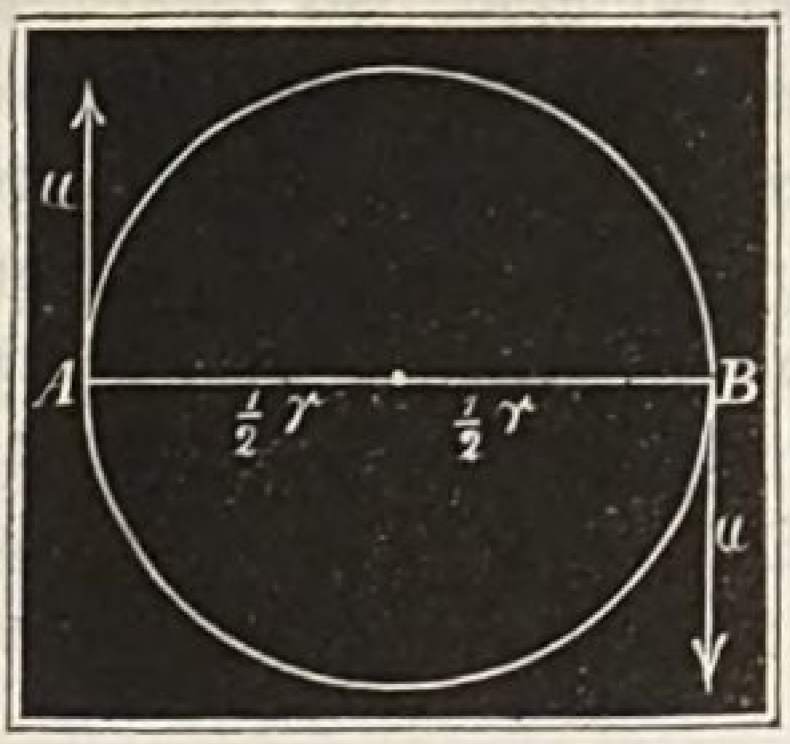
$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha y = - aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii,$$

ſo erhält man daraus für y

$$y = \frac{aa}{2}\,\frac{ii}{ee} = \frac{aa}{2}uu.$$

Die mit der Geſchwindigkeit u in entgegengeſetzten Richtungen ſtrömenden Elektricitäten der beiden Elemente A und B bewegen ſich nach den Tangenten eines um die Mitte von r gezogenen Kreiſes und bleiben immer diametral gegenüber. Die Beſchleunigung g' einer jeden, in Beziehung auf den Mittelpunkt des Kreiſes iſt, nach den bekannten Geſetzen der Kreisbewegung, den Quadraten ihrer Geſchwindigkeit nach der Richtung der Tangenten ($= uu$) direct und dem Halbmeſſer des Kreiſes ($= \frac{1}{2}r$) umgekehrt proportional, oder es iſt

Fig. 239.



$$g' = \frac{2uu}{r},$$

folglich iſt die Summe der Beſchleunigungen beider in Beziehung auf den Mittelpunkt, d. h. ihre relative Beſchleunigung gegeneinander

$$g = 2g' = \frac{4uu}{r}$$

und hieraus

$$uu = \frac{gr}{4}.$$

Subſtituirt man dieſen Werth, ſo iſt

$$y = \frac{aa}{8}\,gr.$$

Mit dieſem Werthe von y erhält man die Abſtoßungskraft zweier elektriſchen Maſſen ε und ε' allgemeiner durch die ſtatiſche Formel = Hinzufügung der von der relativen Beſchleunigung abhängigen Correction beſtimmt

$$= \frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 + \frac{aa}{8}\,gr\right).$$

Faßt man endlich die beiden von der relativen Geſchwindigkeit und von der relativen Beſchleunigung abhängigen Correctionen zuſammen und fügt man ſie der durch das ſtatiſche Geſetz gegebenen Formel hinzu, ſo erhält man nun das allgemeine Grundgeſetz der Wirkung zweier elektriſchen Maſſen ε und ε', nämlich

$$\frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv + \frac{aa}{8}\,gr\right)$$

und dieſe Formel beſtimmt, auf alle anderen Fälle angewandt, die Wechſelwirkung zweier beliebig gegeneinander geſtellter Stromelemente A und B ſtets ebenſo wie das Ampère'ſche Geſetz, wenn man nach derſelben die vier

Wechſelwirkungen, welche zwiſchen den beiden elektriſchen Maſſen in A und den beiden in B ſtattfinden, berechnet und ſummirt.

Hierdurch ſind die Wirkungen gleichförmiger elektriſcher Strömungen in ruhenden Leitungsdrähten in der Ferne völlig beſtimmt; wir können nun aber auch dieſe Principien in Anwendung bringen, um zu ermitteln, welche Wirkungen ein durchſtrömter bewegter Leitungsdraht oder ein ſolcher, deſſen Stromintenſität zu- oder abnimmt, in einem ſtromloſen Drahtelemente hervorbringt, und ſo ergeben ſich aus dem in dieſem Paragraphen ermittelten allgemeinen elektriſchen Geſetze auch die unter dem Namen der Volta-Induction bekannten Erſcheinungen. Des Zuſammenhanges wegen wollen wir die theoretiſche Ableitung des Inductionsgeſetzes hier unmittelbar folgen laſſen.

248 **Weber's Theorie der Volta-Induction.** Das ſo eben gefundene Grundgeſetz kann auch auf den Fall der Induction angewendet und das allgemeine Inductionsgeſetz daraus abgeleitet werden, und zwar am einfachſten mit Hülfe der folgenden geometriſchen Conſtruction.

1) Es ſey α das inducirende Stromelement, welches dem durchſtrömten Leitungsdrahte RR' angehört; wir wollen die Wirkung ermitteln, welche das Stromelement α auf α', d. h. auf ein Element des ſtromloſen Leitungsdrahtes SS' ausübt, wenn der durchſtrömte Draht bewegt wird. Es ſtelle nun αA die Geſchwindigkeit dar, mit welcher das Element α ſelbſt bewegt wird, αB und $\alpha B'$ ſeyen die Stromgeſchwindigkeiten der beiden Elektricitäten in demſelben. Setzt man αA mit αB zuſammen, ſo erhält man die Geſchwindigkeit αC für die poſitive Elektricität; ſetzt man αA mit $\alpha B'$ zuſammen, ſo erhält man die Geſchwindigkeit $\alpha C'$ der negativen Elektricität

Fig. 240.

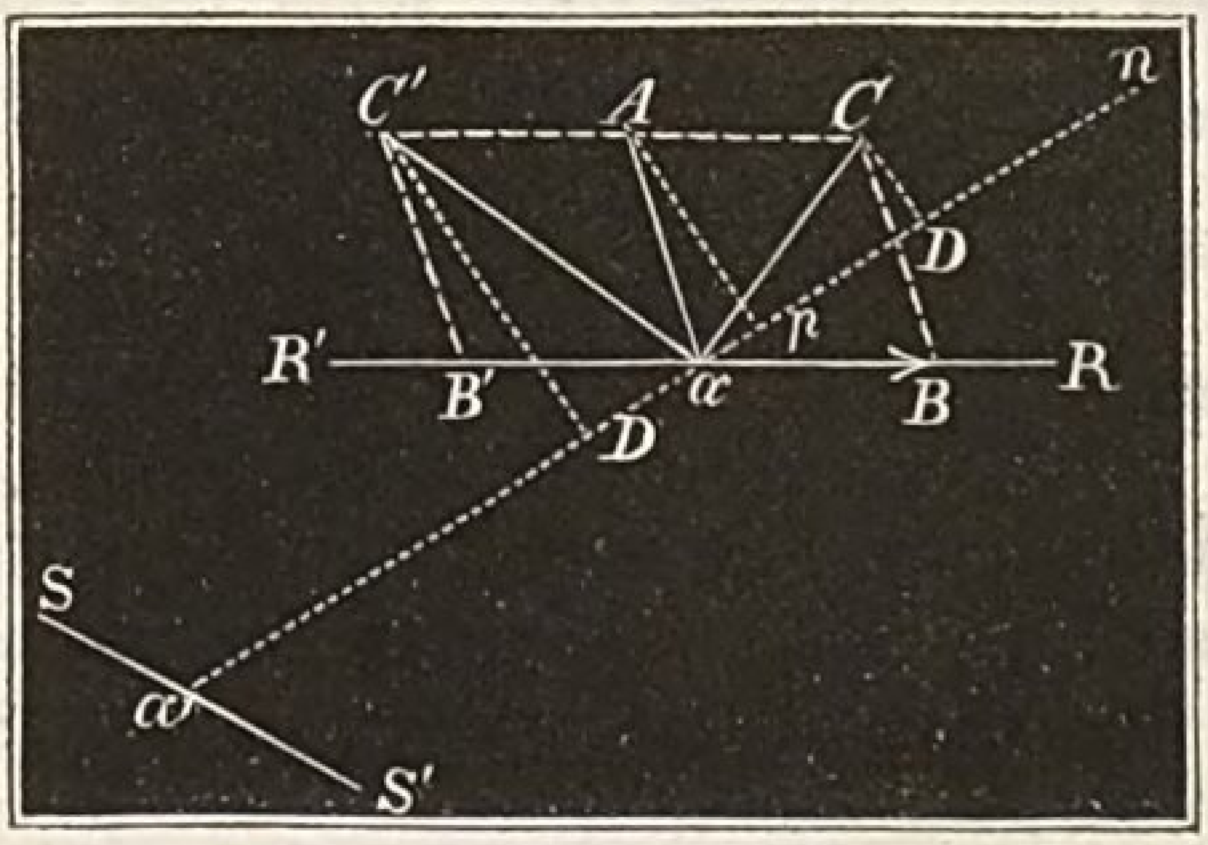
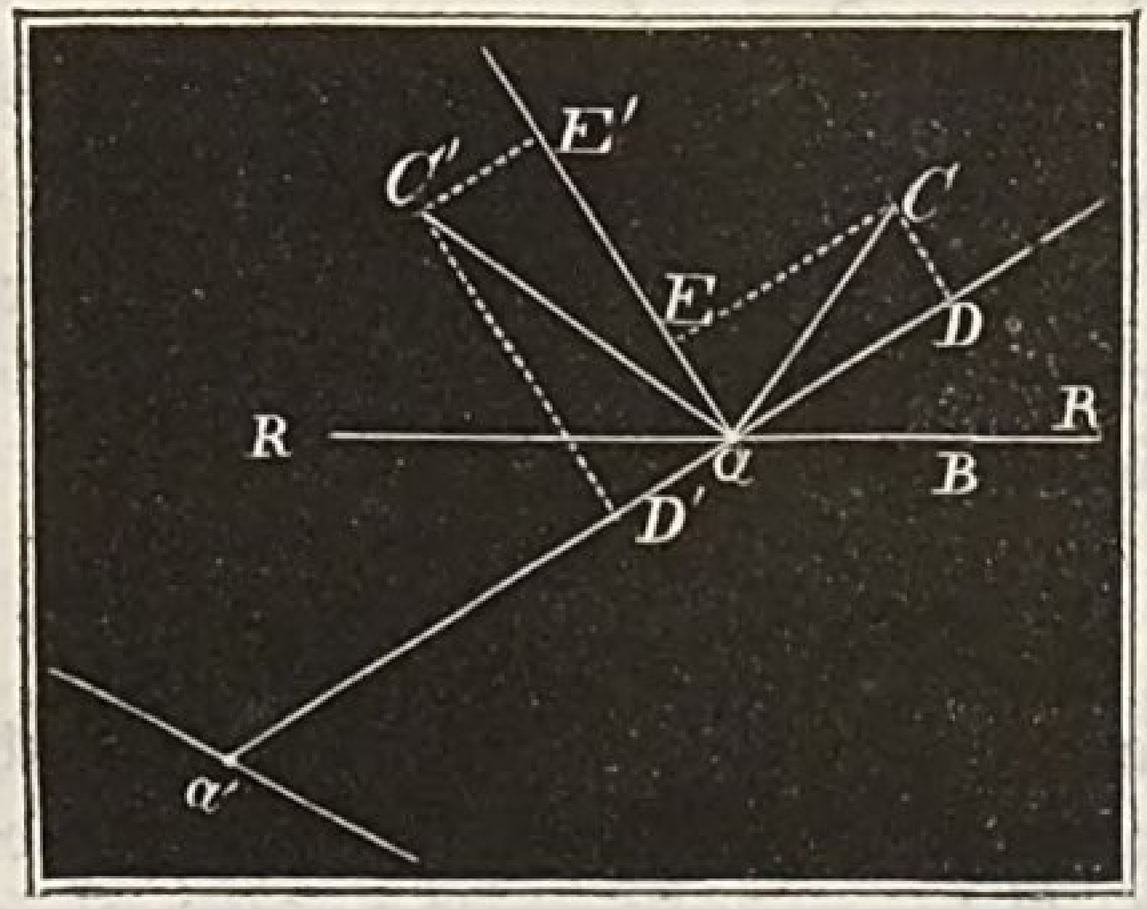


Fig. 241.



2) Man ziehe nun die Verbindungslinie $\alpha\alpha' = r$. Die

Geſchwindigkeit αC wird zerlegt in die Geſchwindigkeit αD Fig. 241 nach der Richtung von r und in die Geſchwindigkeit αE rechtwinklig darauf. Ebenſo wird die Geſchwindigkeit $\alpha C'$ zerlegt in die Geſchwindigkeit $\alpha D'$ nach r und $\alpha E'$ rechtwinklig darauf. Es iſt nun $\alpha D = v$ die *relative Geſchwindigkeit* der poſitiven, $\alpha D' = v'$ die *relative Geſchwindigkeit* der negativen Elektricität in α gegen die ruhende Elektricität in α'.

3) Aus den Tangentialgeſchwindigkeiten (für α' als Mittelpunkt) $\alpha E = u$ und $\alpha E' = u'$ ergiebt ſich dagegen aus dem Geſetze der Kreisbewegung die *relative Beſchleunigung* der poſitiven Elektricität in α gegen α'

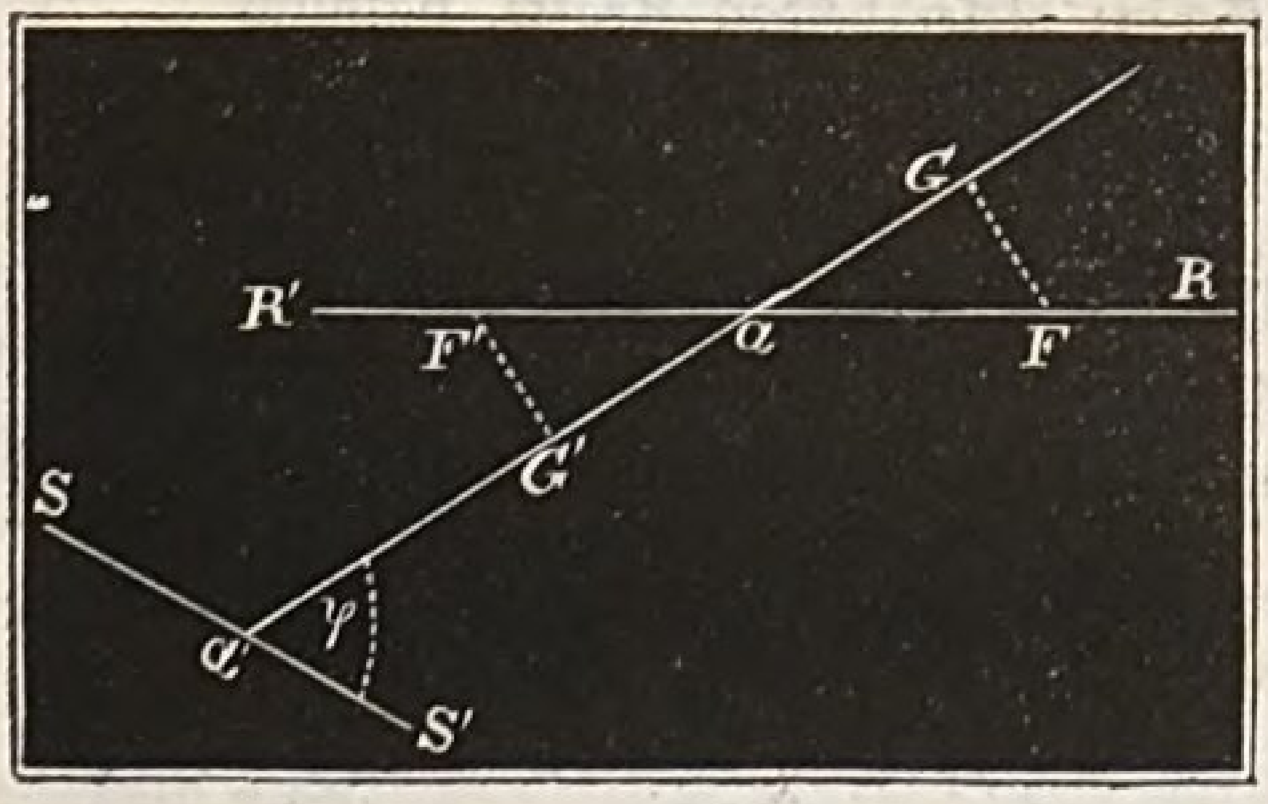
$$g'' = \frac{uu}{r}$$

und der negativen Elektricität in α gegen α'

$$g''' = \frac{u'u'}{r} .$$

4) Soll die Theorie nicht allein die Induction durch Annähern und Entfernen des inducirenden Drahtes gegen den inducirten, ſondern auch die Induction durch Entſtehen und Verſchwinden oder, allgemeiner geſagt, durch Verſtärkung und Schwächung des Hauptſtroms umfaſſen, ſo müſſen wir den Strom in α ſelbſt veränderlich nehmen, wir müſſen alſo annehmen, daß in dem Leitungsdrahte RR' ſelbſt eine Strombeſchleunigung oder Verzögerung ſtattfinde. Es ſtelle nun αF und $\alpha F'$ Fig. 242 die Strombeſchleunigung für die poſitive und negative Elektricität in α dar, ſo giebt die Zerlegung nach der Richtung von r die daraus entſpringende *relative Beſchleunigung* gegen α', nämlich für die poſitive Elektricität

Fig. 242.



$$\alpha G = g_0$$

für die negative Elektricität

$$\alpha G' = -g_0$$

folglich die *ganze relative Beſchleunigung* für die poſitive Elektricität

$$g = g'' + g_0 = \frac{uu}{r} + g_0$$

für die negative Elektricität

$$g' = g''' - g_0 = \frac{u'u'}{r} - g_0$$

hiernach erhält man folgende vier Wechſelwirkungen

von $+ e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}vv + \frac{aa}{8}gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}v'v' + \frac{aa}{8}g'r\right)$

von $+ e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}vv + \frac{aa}{8}gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}v'v' + \frac{aa}{8}g'r\right)$

Die Summe dieſer vier Wechſelwirkungen iſt Null; eine elektrodynamiſche Wirkung findet alſo zwiſchen dem durchſtrömten Elemente α und dem ſtromloſen α' nicht ſtatt. In Summe aber iſt die Kraft

auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}(v'v' - vv) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}(v'v' - vv) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf die poſitive und negative Elektricität in α' wirken alſo ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche ſie zu trennen ſtrebt, d. h. die Inductionskraft in der Richtung von r iſt alſo die Differenz dieſer beiden Kräfte, nämlich

$$\frac{2ee'}{rr}\alpha\alpha'\frac{aa}{16}\left\{v'v' - vv - 2r(g' - g)\right\}$$

Subſtituirt man den geometriſch conſtruirten Werthen von v, v', u und u' ihre trigonometriſchen Ausdrücke, ſo erhält man das Inductionsgeſetz in der Form, in welcher es gebraucht wird. Setzt man nämlich in 1)

$$\alpha A = c\ ;\ \alpha B = \frac{i}{e}\ ;\ \text{Winkel } A\alpha B = \varepsilon,$$

ſo erhält man

$$(\alpha C)^2 = cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon$$

$$(\alpha C')^2 = cc + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon.$$

Setzt man ferner in 2)

$$\text{Winkel } A\alpha n = \Theta'$$
$$\text{Winkel } B\alpha\alpha' = \Theta,$$

ſo erhält man

$$\alpha D = \alpha p + pD = c\cos.\Theta' + \frac{i}{e}\cos.\Theta$$

$$\alpha D' = \alpha p - pD' = c\cos.\Theta' - \frac{i}{e}\cos.\Theta$$

und

$$v v = \alpha D^2 = \left(c \cos.\Theta' + \frac{i}{e} \cos.\Theta \right)^2$$

$$v' v' = \alpha D'^2 = \left(c \cos.\Theta - \frac{i}{e} \cos.\Theta \right)^2$$

folglich

$$v' v' - v v = - \frac{4 c i}{e} \cos.\Theta \cos.\Theta',$$

ferner

$$u u = (\alpha E)^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D)^2$$

$$= cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e} \cos.\varepsilon - \left(c \cos.\Theta' + \frac{i}{e} \cos.\Theta \right)^2$$

$$u' u' = (\alpha E')^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D')^2$$

$$= cc^2 + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e} \cos.\varepsilon - \left(c \cos.\Theta' - \frac{i}{e} \cos.\Theta \right)^2$$

folglich

$$- 2 r (g' - g) = - 2 (u'u' - uu) + 4 g_0 r$$

$$= \frac{8ci}{e} (\cos.\varepsilon - \cos.\Theta \cos.\Theta') + 4 g_0 r.$$

Endlich, wenn man in 4) die Beschleunigung der Stromgeschwindigkeit αF mit $\frac{1}{e} \frac{di}{dt}$ bezeichnet iſt, so iſt

$$g_0 = \frac{\cos.\Theta}{e} \frac{di}{dt}.$$

Substituirt man nun diese Werthe von $v'v' - vv$, $-2r(g' - g)$ und g_0 in den oben gefundenen Ausdruck für die Inductionskraft, nämlich in

$$\frac{2ee'}{rr} \alpha \alpha' \frac{aa}{16} \left\{ v'v' - vv - 2r(g' - g) \right\},$$

so erhält man

$$\frac{\alpha \alpha'}{rr} a a e' c i (\cos.\varepsilon - {}^3/_2 \cos.\Theta \cos.\Theta') + {}^1/_2 \frac{\alpha \alpha'}{r} a a e' \cos.\Theta \frac{di}{dt}.$$

Die hierdurch bestimmte Kraft sucht nun die positive und negative Elektricität im inducirten Elemente α' nach der Richtung der Geraden r von einander zu scheiden. In der Wirklichkeit kann diese Scheidung nur nach der Richtung von α' erfolgen, weil in einem linearen Leiter ein galvanischer Strom nur in der Richtung des Leiters stattfinden kann. Zerlegt man obige Kraft nach der Richtung des Elements α' und senkrecht darauf, so kommt nur der erste Theil als elektromotorische Kraft in Betracht und dieser ist, wenn φ den Winkel bezeichnet, welchen das Element α' mit r macht, und ferner mit e' dividirt

$$= \frac{\alpha\alpha'}{rr} a\, i (cos.\, \varepsilon - {}^3/_2\, cos.\, \Theta\, cos.\, \Theta')\, a\, c.\, cos.\, \varphi + {}^1/_2 \frac{\alpha\alpha'}{r} a\, cos.\, \Theta\, cos.\, \varphi \frac{di}{dt}.$$

Handelt es ſich nur darum, die Induction zu ermitteln, welche ein conſtanter Strom eines bewegten Drahtes in einem benachbarten ſtromloſen hervorbringt, ſo iſt $\frac{di}{dt} = 0$ und der obige Werth reducirt ſich auf

$$\frac{\alpha\alpha'}{rr} a\, i (cos.\, \varepsilon - {}^3/_2\, cos.\, \Theta\, cos.\, \Theta')\, a\, c\; cos.\, \varphi \;.\;.\;.\;.\;.\; a)$$

Bleibt hingegen der Draht, welcher den primären Strom leitet, in Ruhe, ſo wird $c = 0$, und wenn dann die Stromſtärke im Hauptdraht ab- oder zunimmt, ſo reducirt ſich der obige Werth auf

$$^1/_2\, \frac{\alpha\alpha'}{r} a\, cos.\, \Theta\, cos.\, \varphi \frac{di}{dt} \;.\;.\;.\;.\;.\; b).$$

Suchen wir nun dieſe Werthe a) und b) der elektromotoriſchen Kraft an einigen ſpeciellen Fällen zu erläutern und mit der Erfahrung zu vergleichen.

Sind z. B. die Elemente α und α' einander parallel und iſt die Richtung, nach welcher α bewegt wird, in der Ebene beider Elemente ſenkrecht auf dieſelben, ſo iſt, wenn α ſich von α' entfernt,

$$cos.\, \varepsilon = 0$$
$$cos.\, \varphi = -\, cos.\, \Theta$$
$$cos.\, \Theta' = sin\, \Theta,$$

der Werth a) reducirt ſich alſo auf

$$+\, {}^3/_2\, cos.\, \Theta^2\, sin.\, \Theta.$$

Der poſitive Werth dieſes Ausdruckes zeigt uns, daß in dieſem Falle der inducirte Strom dem inducirenden gleichgerichtet iſt.

Wird α gegen α' genähert, ſo bleibt alles Uebrige unverändert, nur wird $cos.\, \Theta' = -\, sin.\, \Theta$; der Werth a reducirt ſich alſo auf

$$-\, {}^3/_2\, cos.\, \Theta^2\, sin.\, \Theta;$$

in dieſem Falle hat alſo der inducirte Strom die entgegengeſetzte Richtung des inducirenden.

Der Werth von b) wird poſititiv, wenn $\frac{di}{dt}$ negativ iſt; im Nebendraht wird alſo ein dem Hauptſtrom gleichgerichteter inducirt, wenn dieſer Hauptſtrom an Stärke abnimmt oder verſchwindet. Bei Entſtehung des Hauptſtroms aber, oder wenn er an Stärke zunimmt, iſt $\frac{di}{dt}$ poſitiv, der Werth b) wird dadurch negativ; in dieſem Falle iſt alſo der inducirte Strom dem inducirenden entgegengeſetzt.

Fechner's und Neumann's Theorie der Induction. Fechner 249
iſt der Erſte geweſen, welcher es verſucht hat, einen innern Zuſammenhang zwiſchen den elektrodynamiſchen und den Inductionserſcheinungen zu entwickeln, welche vorher von Lenz bloß durch eine empiriſche Regel in Beziehung zu einander geſetzt worden waren. Fechner hat ſich dabei nur auf einen Fall der Induction beſchränkt, nämlich auf den, wo ein ruhender conſtanter Strom auf einen gegen ihn bewegten Leitungsdraht wirkt. (P. A. LXIV. 337.) Von einer nähern Auseinanderſetzung dieſer, nur einen engeren Kreis von Erſcheinungen umfaſſenden Theorie des verdienſtvollen Leipziger Phyſikers dürfte hier wohl abſtrahirt werden, da wir ſo eben die umfaſſendere Theorie Weber's in ihren Grundzügen kennen gelernt haben.

Neumann hat der Akademie in Berlin eine Abhandlung über die Theorie der Induction übergeben, aus welcher in Poggendorff's Annalen (Bd. LXVII. S. 31) ein Auszug erſchienen iſt. Neumann ſagt:

»Aus dem Lenz'ſchen Satze: daß die Wirkung, welche der inducirende »Strom oder Magnet auf den inducirten Leiter ausübt, immer, wenn die »Induction durch eine Bewegung des letzteren hervorgebracht iſt, einen hem»menden Einfluß auf dieſe Bewegung ausübt, in Verbindung mit dem »Satze: daß die Stärke der momentanen Induction proportional mit der »Geſchwindigkeit dieſer Bewegung iſt, wird das allgemeine Geſetz der linearen »Induction abgeleitet

$$Eds = -\varepsilon v C ds.$$

»Hierin bedeutet ds ein Element des inducirten Drahtes und Eds die »in dem Elemente ds inducirte elektromotoriſche Kraft; v iſt die Geſchwin»digkeit, mit welcher ds bewegt iſt, C die nach der Richtung, in welcher »ds bewegt wird, zerlegte Wirkung des Inducenten auf ds, dieſes Ele»ment durchſtrömt gedacht von der Einheit des Stroms. Die Größe ε »kann bei der linearen Induction als eine Conſtante behandelt werden.

Weber hat nun in ſeiner bereits mehrfach citirten Abhandlung gezeigt, daß das Neumann'ſche Geſetz mit ſeiner Theorie übereinſtimmende Reſultate giebt, ſobald man die Anwendung des Neumann'ſchen Geſetzes auf geſchloſſene, durch Magnete erſetzbare Ströme beſchränkt.

Eine nähere Erörterung dieſes Gegenſtandes iſt hier nicht wohl möglich.

Achter Abſchnitt.

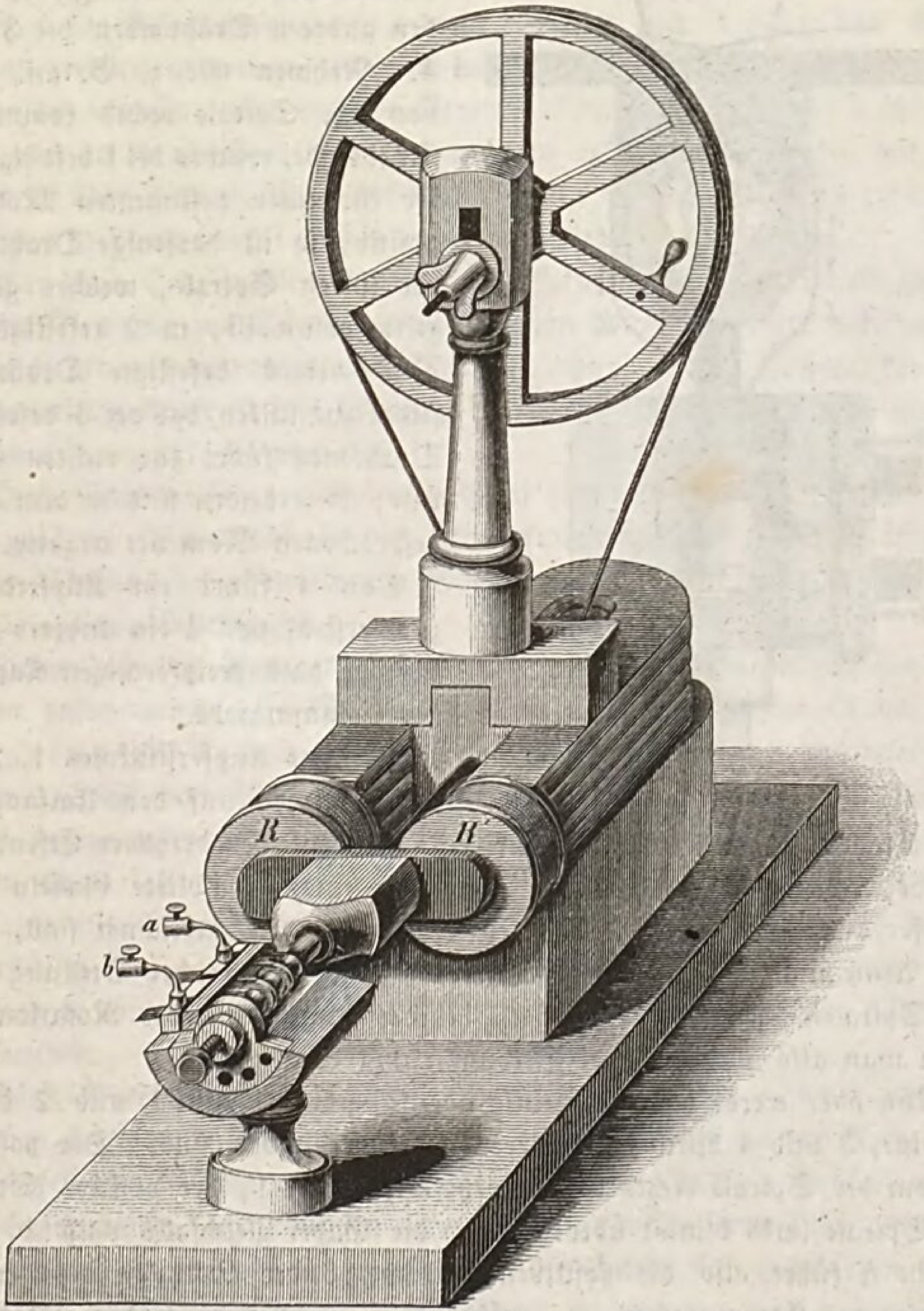
Elektriſche Induction.

250 **Magnetoelektriſche Rotationsapparate.** Die magnetoelektriſchen Rotationsapparate ſind in neuerer Zeit bedeutend verbeſſert worden. Petrina hat an dem bereits in meinem Lehrbuch der Phyſik beſchriebenen Ettinghauſiſchen Rotationsapparat einige zweckmäßige Abänderungen angebracht, unter denen vorzugsweiſe hervorzuheben iſt, daß ſeine Maſchine den Strom ſtets in gleicher Richtung durch den Schließungsbogen ſendet, wie dies auch bei den Stöhrer'ſchen Maſchinen geſchieht. Um nach Belieben einen Intenſitätsſtrom oder einen Quantitätsſtrom zu erhalten, ohne die Inductoren zu wechſeln, hat er an derſelben Rotationsaxe 4 Inductionsrollen angebracht, von denen immer je zwei diametral gegenüber ſtehende zuſammen gehören. Zwei dieſer Spiralen ſind von dickem, zwei von dünnem Draht. Jedes Spiralenpaar hat ſeinen eigenen an derſelben Spirale ſitzenden Commutator, ſo daß man nach Belieben den Strom der dicken oder den Strom der dünnen Drahtſpirale, oder auch beide gleichzeitig haben kann (Magnetoelektriſche Maſchine von F. Petrina. Linz 1844.).

Die magnetoelektriſchen Rotationsapparate, welche Stöhrer in Leipzig conſtruirt, dürfen wohl als die vollkommenſten Inſtrumente dieſer Art angeführt werden. Figur 243 ſtellt einen dieſer Apparate von mittlerer Größe dar. Was das Arrangement im Ganzen betrifft, ſo iſt hier wohl keine weitere Erläuterung nöthig; eben ſo bedarf wohl auch die Einrichtung des Commutators, welche Fig. 244 dargeſtellt iſt, keiner weiteren Auseinanderſetzung, da das Princip deſſelben bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd. S. 257) beſchrieben iſt; als neu aber muß ich die Vorrichtung beſchreiben, welche dazu dient, um die beiden Spiralen auf verſchiedene Weiſe zu combiniren, ſo daß man nach Belieben

einen ſtärkeren Strom von geringerer Spannung oder einen ſchwächeren Strom von größerer Spannung erzeugen kann. Dove nennt eine ſolche Vorrichtung Pachytrop.

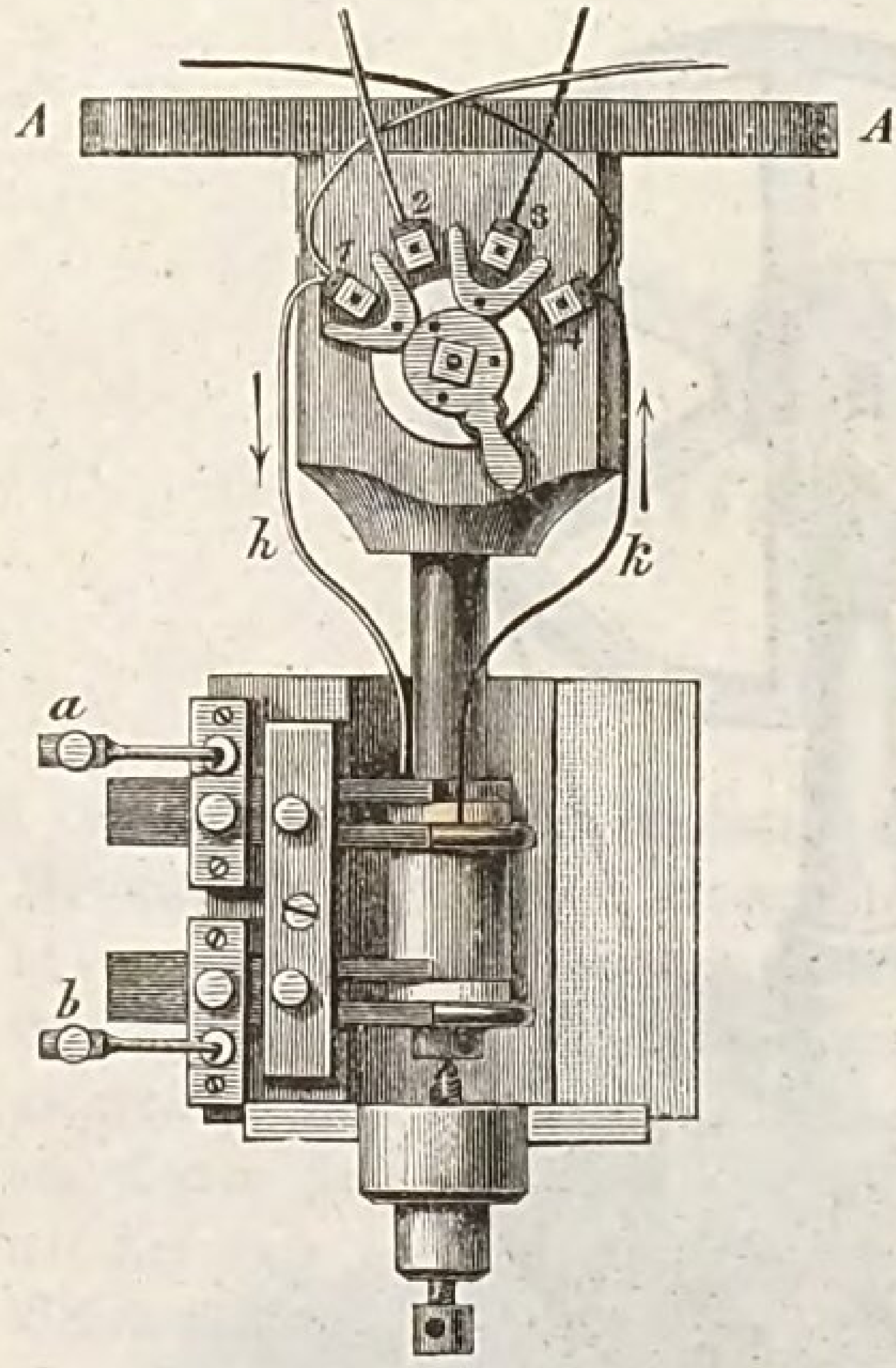
Fig. 243.



In Fig. 244 ſtellt *A A* die eiſerne Platte dar, welche die eiſernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsaxe des ganzen Apparates geht; an derſelben iſt, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befeſtigt, welches auf der einen (in Fig. 243 gerade nicht ſichtbaren) Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Auf der Holzfläche ſind zunächſt 4 Kupferplättchen befeſtigt, welche in Fig. 244 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet ſind. An 1 und 2 ſind zwei gleichnamige Drahtenden der beiden Drahtſpiralen befeſtigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befeſtigt iſt, ſey für einen beſtimmten Moment poſitiv, ſo iſt dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig poſitiv iſt, in 2 befeſtigt. — Das bei 4 befeſtigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befeſtigte Drahtende führt zur rechten Spirale; dieſe beiden ſind in dem eben beſprochenen Momente negativ.

Fig. 244.



Von 1 führt ein Kupferdraht zum erſten, von 4 ein anderer zum zweiten halb kreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferſtückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfang eines Kreiſes, in deſſen Mittelpunkt eine um denſelben drehbare Elfenbeinſcheibe befeſtigt iſt; dieſe trägt zwei von einander iſolirte Gabeln von Kupfer, welche in unſerer Figur in ſolcher Stellung gezeichnet ſind, daß ihre Arme nicht auf die Kupferſtückchen fallen. Bei ſolcher Stellung ſind die Spiralen gar nicht geſchloſſen; bei der Umdrehung der Rotationsaxe kann man alſo auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinſcheibe ſo gedreht, daß 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden ſind. Der poſitive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der poſitive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht *h* führt alſo die poſitiven Ströme beider Spiralen dem erſten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht *k* nach 4 gelangt, um ſich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schließungsbogen durchläuft, geht alſo zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, ſo ſind hier gleichſam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromo-

toriſche Kraft iſt gleich, der Widerſtand iſt halb ſo groß als für eine Spirale allein.

Dieſe Combination iſt anzuwenden, um ſtärkere Ströme im Schließungsbogen von verhältnißmäßig geringem Widerſtande zu erhalten.

Wird die Elfenbeinſcheibe ſo gedreht, daß 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, ſo muß der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der poſitive Strom, welcher durch *k* bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er dieſe durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und *h* zum Commutator zu gelangen.

Für dieſe Combination ſind alſo gewiſſermaßen die beiden elektromotoriſchen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotoriſche Kraft und den doppelten Widerſtand einer einzigen Spirale, die elektromotoriſche Kraft iſt alſo doppelt, der Widerſtand 4mal ſo groß als für die zuerſt genannte Combination.

Dieſe Combination der Spiralen iſt in ſolchen Fällen zu wählen, wo ein größerer Widerſtand in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt; bei dieſer Stellung der elfenbeinenen Scheibe erhält man deshalb die ſtärkſten phyſiologiſchen Wirkungen.

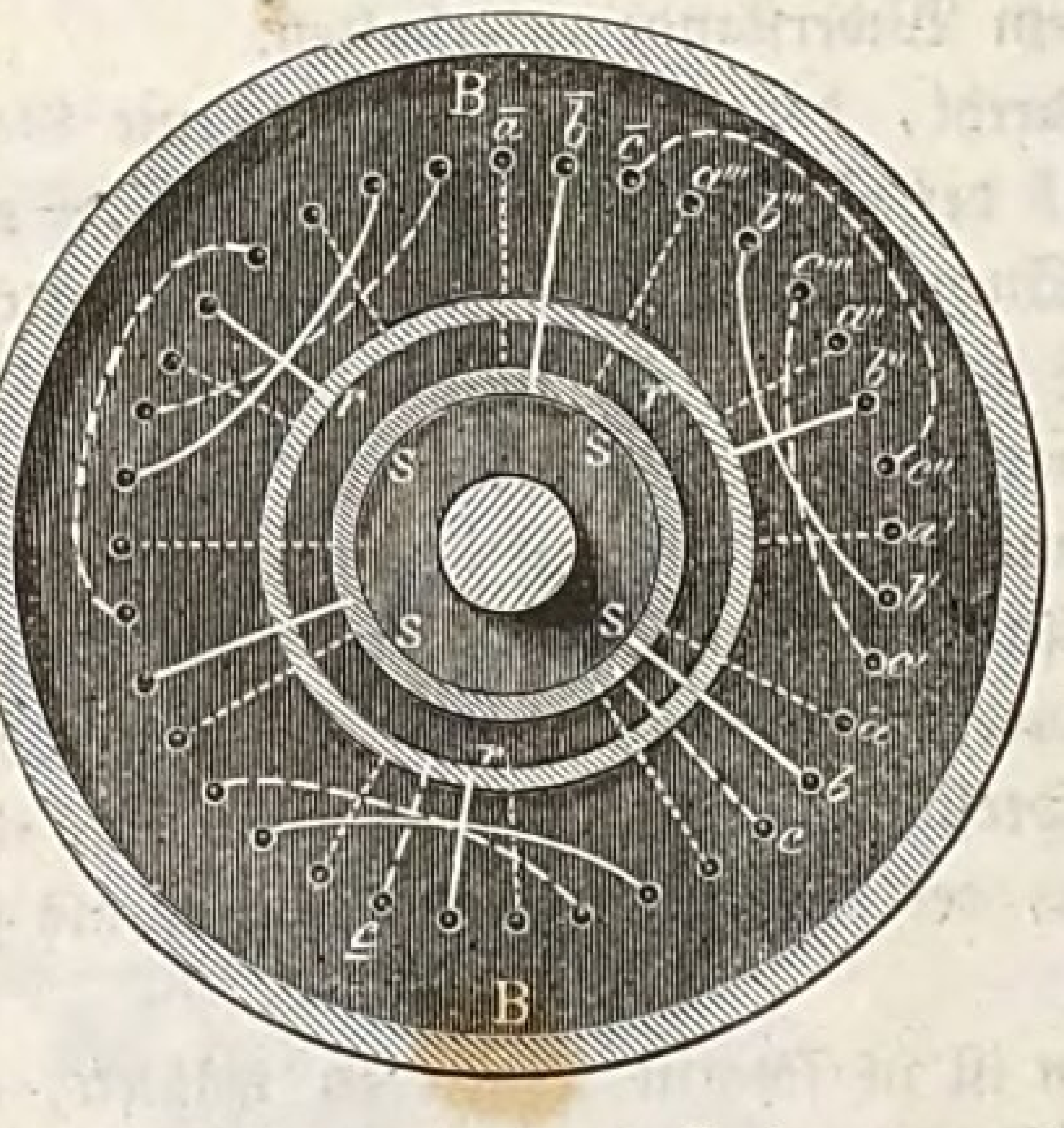
Seine größeren Apparate hat Stöhrer aus mehreren Hufeiſenmagneten zuſammengeſetzt. So beſchreibt er z. B. im 61ſten Bande von Poggendorff's Annal. S. 417 einen Apparat mit 3 Hufeiſenmagneten. Dieſe drei Magnete ſind vertical geſtellt, ſo daß die 6 Pole in einer horizontalen Ebene liegen und die Mittelpunkte der 6 Polflächen in einen Kreis fallen. Ueber dieſen 6 Magnetpolen rotiren 6 Inductionsſpiralen mit Eiſenkernen um eine verticale Umdrehungsaxe. Es würde überflüſſig ſeyn, hier eine Abbildung des ganzen Apparates zu geben, ich beſchränke mich nur darauf, den Pachytrop dieſer Maſchine näher zu beſchreiben.

Dieſe Vorrichtung iſt natürlich complicirter als die entſprechende des ſo eben betrachteten kleinen Apparates; ſie iſt in einer an der Rotationsaxe befeſtigten Büchſe von Meſſingblech enthalten, und die Drähte, welche die verſchiedenen Verbindungen vermitteln, ſind des beſſeren Schutzes wegen ganz mit Harz zugegoſſen, ſo daß man die Einrichtung nicht ſehen kann, ohne die ganze Vorrichtung aus einander zu nehmen und zu zerſtören; gerade deshalb aber dürfte hier die Beſchreibung derſelben, welche mir Hr. Stöhrer behufs der Publication aufs bereitwilligſte mittheilte, am Platze ſeyn.

An der verticalen Umdrehungsaxe iſt eine hölzerne Scheibe *AA* befeſtigt, welche man in Fig. 246 im Durchſchnitt, Fig. 247 von Oben geſehen dargeſtellt ſieht. Auf derſelben ſind in horizontaler Lage 12 Federn

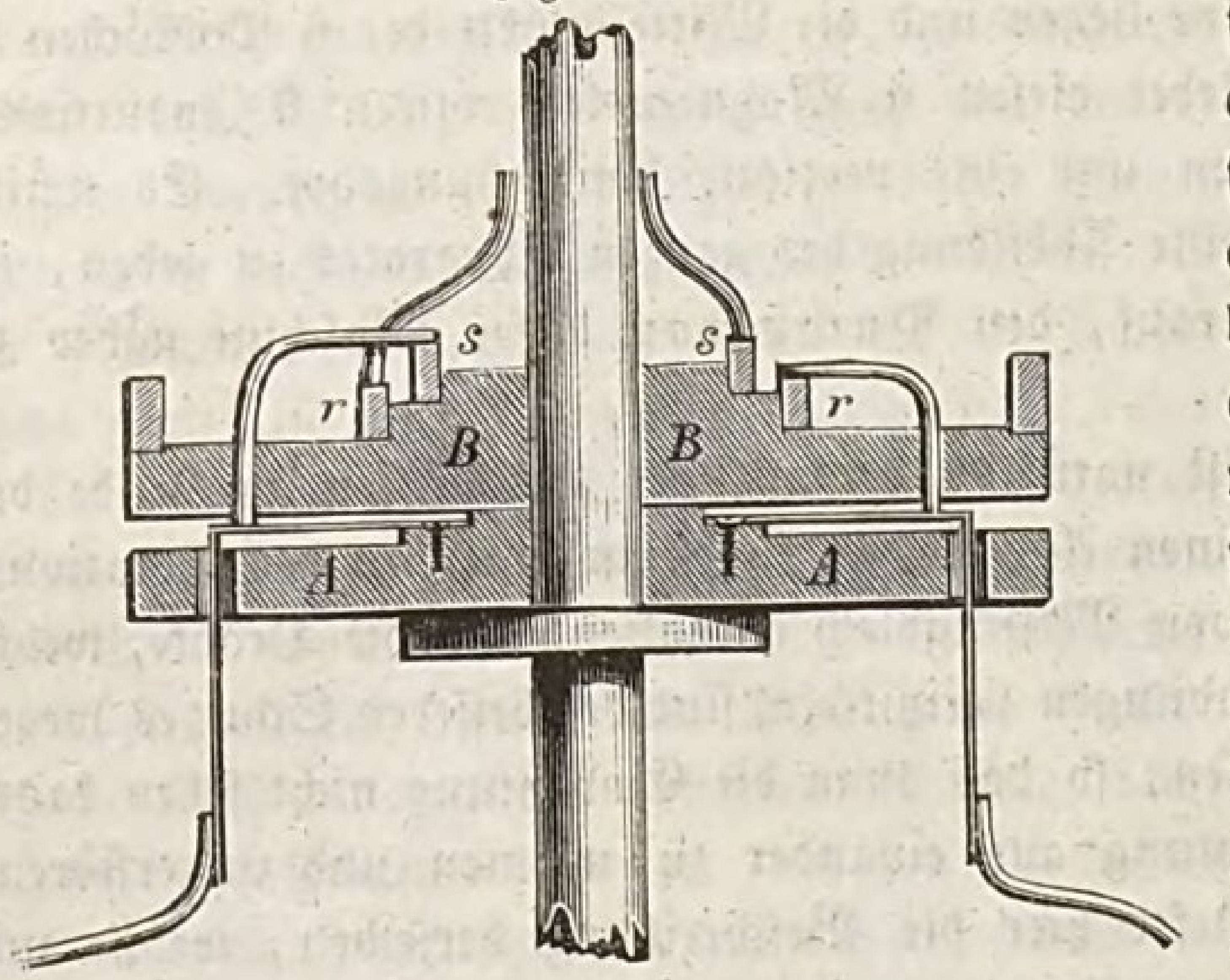
von Neuſilber aufgeſchraubt, von denen eine jede mit einem der 12 Drahtenden der 6 Inductionsſpiralen verbunden iſt, wie es die Figur andeutet; ſo bilden gewiſſermaßen die Federn 1 und 2 die Enden der Spirale *I*, 3 und 4 die der Spirale *II* u. ſ. w.

Fig. 245.



Ueber dieſer Scheibe *A* iſt nun eine zweite *B* drehbar, welche gleichfalls in Fig. 246 im Durchſchnitt, Fig. 245 aber von oben geſehen dargeſtellt iſt. Dieſe Scheibe hat in gleichen Abſtänden 36 Löcher, durch welche 36 Drähte vertical herabgehen, die dann oben theils zu dem Meſſingringe *r*, theils zum Meſſingringe *s*, theils von einem Loch zum andern führen. Die Drähte, welche in Fig. 245 punktirt angedeutet ſind, dienen, um die 6 Spiralen neben einander, die geſtrichelt punktirten, um ſie hinter einander zu combiniren; durch die Drähte, welche ausgezogen ſind, werden endlich je zwei Spiralen hinter einander combinirt.

Fig. 246.

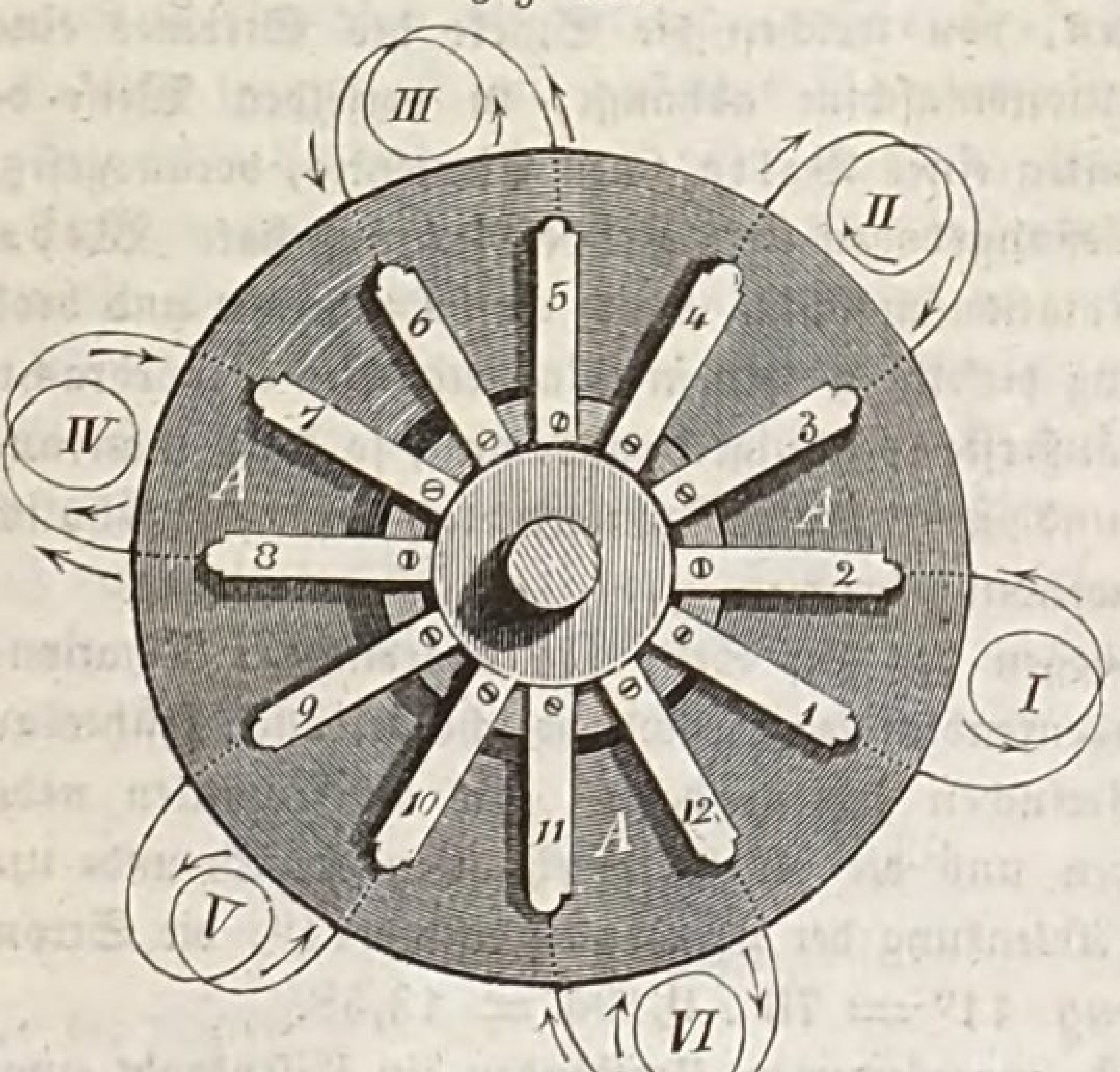


Die obere Scheibe ſey ſo gedreht, daß *a* auf 1, *a'* auf 2 u. ſ. w. fällt, ſo iſt klar, daß alle (für den Augenblick) poſitiven Drahtenden der 6 Spiralen mit dem äußeren Meſſingringe *r*, alle negativen aber mit dem inneren *s* verbunden ſind. Von *r* aber führt ein Draht zum erſten, von *s* ein anderer zum zweiten Kamme des Commutators, der poſitive Strom aller Spiralen gelangt alſo direct zum Ringe *r*, von da über den Commutator zum Ringe *s* und von dieſem aus in die Spiralen zurück. Hier ſind die 6 Spiralen neben einander combinirt, bezeichnet man die elektromotoriſche Kraft und den Widerſtand

einer Spirale mit e und r, ſo iſt für dieſe Combination die elektromotoriſche Kraft gleich e, der Widerſtand $\frac{r}{6}$.

Wird die obere Scheibe B ſo gedreht, daß b auf 1 kommt, ſo iſt das negative Drahtende von I mit s, das poſitive von II mit r verbunden, während durch das Drahtſtück b' b''' das negative Drahtende von II mit dem poſitiven von I verbunden iſt; ein poſitiver von s kommender Strom tritt alſo durch b, welches auf 1 ſteht, in die Spirale I, nachdem er dieſelbe durchlaufen hat, wird er von 2 aus durch den Draht b' b''' nach 4 geführt, um in die Spirale II überzugehen, er verläßt dieſelbe bei 3 und gelangt von da über b'' nach dem äußeren Ringe r. — Auf dieſelbe Weiſe ſind bei dieſer Stellung die Spiralen III und IV hinter einander combinirt; eben ſo V und VI. Es iſt alſo die elektromotoriſche Kraft des ganzen Apparates $3e$, der Widerſtand $\frac{2}{3}r$.

Fig. 247.



Sollen endlich die 6 Spiralen hinter einander combinirt werden, ſo daß bei der elektromotoriſchen Kraft $6e$ der Widerſtand $6r$ iſt, ſo wird c auf 1 geſtellt. Jetzt geht der Strom, nachdem er die Spirale 1 durchlaufen hat, von c' über c''' nach 4, von da durch die Spirale II zur Feder 3, dann über c'' $\overline{c}$ in die Spirale III und ſo fort durch alle Spiralen, um endlich aus der Spirale VI zur Feder 11 und von dieſer durch den Draht $\underline{c}$ zum Ring r zu gelangen, während das entgegengeſetzte Drahtende der erſten Spirale durch den Draht c mit dem inneren Ring s verbunden iſt.

Die ganze eben beſchriebene und durch die Figuren in $1/2$ der natürlichen Größe dargeſtellte Vorrichtung iſt in einer Büchſe von Meſſingblech enthalten.

Vergleichung der magnetoelektriſchen Rotationsmaſchinen mit 251
anderen Elektromotoren. Weber hat es zuerſt verſucht, genaue

Meſſungen mit magnetoelektriſchen Rotationsmaſchinen anzuſtellen und ihre Wirkungen auf abſolutes Maaß zu reduciren (P. A. LXI. 431). Die Weber'ſche Methode läßt ſich aber auch bei anderen Einheiten und mit anderen Inſtrumenten in Anwendung bringen, durch welche die Verſuche leichter anzuſtellen und die Reſultate leichter zu überſehen ſind; kurz man kann die Conſtanten, von welchen die Stärke des Stromes einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine abhängt, in derſelben Weiſe beſtimmen, wie die Conſtanten eines Volta'ſchen Elementes, vorausgeſetzt, daß der Strom im Schließungsbogen ſtets gleiche Richtung hat. Weber leitete den Strom der Rotationsmaſchine durch eine Drahtrolle und beobachtete, welche Ablenkung dieſelbe an einem Magnetometer hervorbrachte. Wenn es nicht auf die äußerſte Genauigkeit ankommt, ſo kann man auch ſtatt dieſer Drahtrolle und ſtatt des Magnetometers eine gewöhnliche Tangentenbuſſole in Anwendung bringen.

In den Schließungsbogen der auf Seite 677 abgebildeten Rotationsmaſchine wurde die Tangentenbuſſole gebracht, welche bei allen früher auf S. 255 beſprochenen Verſuchen gedient hatte. Als die Spiralen neben einander combinirt waren und die Kurbel zweimal in der Secunde umgedreht wurde, war die Ablenkung der Tangentenbuſſole 11°; die Stromſtärke war alſo $70 \,.\, tang.\, 11^0 = 70 \,.\, 0{,}194 = 13{,}58$.

Nun wurde bei ſonſt unveränderten Umſtänden ein Eiſendraht eingeſchaltet, deſſen reducirte Länge gleich 61 iſt. Bei gleicher Umdrehungsgeſchwindigkeit war jetzt die Ablenkung 5,5°, alſo die Stromſtärke $70 \,.\, 0{,}096 = 6{,}72$; wir haben alſo die Gleichungen

$$13{,}58 = \frac{E}{R},$$

$$6{,}72 = \frac{E}{R + 61},$$

woraus ſich ergiebt

$$R = 60,$$
$$E = 814.$$

Combinirt man die beiden Spiralen hinter einander, ſo hat man, wie bereits oben erwähnt wurde, die doppelte elektromotoriſche Kraft und den 4fachen Widerſtand. Für den Fall alſo, daß der Widerſtand im Schließungsbogen gegen den der Spiralen vernachläſſigt werden kann, wäre alſo die Stromſtärke

$$\frac{2 \,.\, 814}{4 \,.\, 60} = 6{,}78 = 70 \,.\, 0{,}0968 = 70 \,.\, tang.\, 5^0\, 32'.$$

Als der Verſuch angeſtellt, d. h. als eine der Tangentenbuſſolen ohne ſonſtigen merklichen Widerſtand in den Schließungsbogen des Inſtrumen-

tes eingeſchaltet wurde, ergab ſich bei der ſchon angeführten Umdrehungsgeſchwindigkeit eine Ablenkung von 5,7°, was mit der berechneten ſehr nah übereinſtimmt.

Nach dieſen Verſuchen wäre alſo der Widerſtand einer ſolchen Inductionsſpirale ungefähr gleich 120, während bei der angegebenen Umdrehungsgeſchwindigkeit die elektromotoriſche Kraft einer Spirale 814, alſo nahe eben ſo groß iſt, wie die eines Bunſen'ſchen Bechers.

Bei jeder Umdrehung der Kurbel macht die Rotationsaxe des Inductors 7 Umdrehungen, in obigem Falle alſo 14 Umdrehungen in der Secunde, was 28 Polaritätswechſel in den Eiſenkernen der Spiralen ausmacht.

Nach dieſen Auseinanderſetzungen laſſen ſich jetzt auch annähernd der Widerſtand und die elektromotoriſche Kraft für die verſchiedenen Combinationen der großen Stöhrer'ſchen Maſchine berechnen, vorausgeſetzt, daß die Spiralen den unſrigen gleich, und daß bei gleicher inducirender Kraft der Magnetpole gleichfalls 28 Polaritätswechſel in der Secunde vorkommen; für die erſte der drei Combinationen hat man

$$R = \frac{120}{6} = 20$$
$$E = 814,$$

für die zweite

$$R = \frac{2 \,.\, 120}{3} = 80$$
$$E = 3 \,.\, 814 = 2442,$$

für die letzte endlich

$$R = 6 \,.\, 120 = 720$$
$$E = 6 \,.\, 814 = 4884,$$

wonach man für gegebene Schließungsbogen ziemlich annähernd die Wirkungen jenes größeren Apparates berechnen kann.

Die elektromotoriſche Kraft der magnetoelektriſchen Rotationsapparate hängt von der Umdrehungsgeſchwindigkeit ab, wie dies Weber durch ſeine bereits citirten Meſſungen nachgewieſen hat. Auch mit unſerer kleineren Maſchine habe ich dergleichen Meſſungen gemacht. Als die Kurbel nur einmal in der Secunde umgedreht wurde, erhielt man 8,5° Ablenkung; während alſo die Zahl der Polaritätswechſel in der Secunde von 28 auf 14 herabkam, nahm die Stromſtärke nur im Verhältniß von 0,194 zu 0,149 oder von 1 : 0,76 ab.

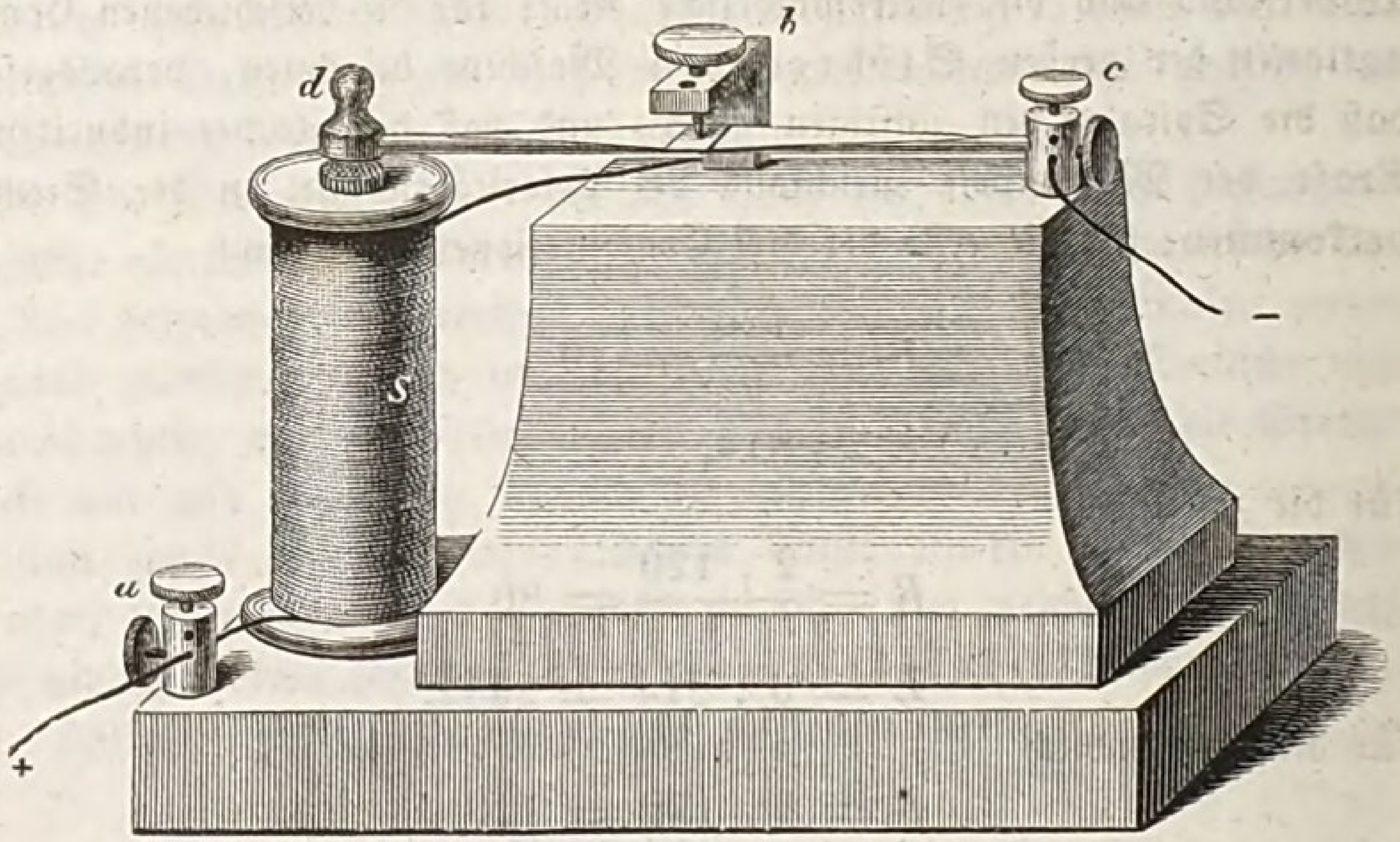
Im Allgemeinen nimmt alſo die elektromotoriſche Kraft mit der Rotationsgeſchwindigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältniß. Ob die elektromotoriſche Kraft für eine beſtimmte Geſchwindigkeit ein Maximum erreicht, um über dieſelbe hinaus wieder abzunehmen, oder ob ſich die elek-

tromotoriſche Kraft aſymptotiſch einem größten Werthe nähert, iſt noch nicht ermittelt.

252 **Elektromagnetiſche Apparate.** Der Neef'ſche Apparat, welcher bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Band, S. 248) beſchrieben worden iſt, wurde von Deſaga in Heidelberg vereinfacht und verbeſſert; aus der Deſaga'ſchen Form des Apparates entwickelte ſich die in Fig. 248 abgebildete.

S iſt eine Spirale von dünnem überſponnenem Kupferdraht, welcher auf eine Hülſe von Holz gewickelt iſt. Die beiden Drahtenden dieſer Spirale

Fig. 248.



führen zu den Meſſingſtändern *a* und *b*. Im Innern der Holzhülſe befindet ſich ein Bündel von Eiſendrähten.

In dem Meſſingſäulchen *c* iſt ein federnder Kupferſtreifen befeſtigt, deſſen anderes Ende in einem kleinen Zwiſchenraum über dem Drahtbündel in der Spirale ein eiſernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge ſchwach gegen eine von Oben herabkommende Platinſpitze an, welche ſich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, iſt gewöhnlich ein kleines Platinplättchen aufgeſetzt.

Der eine Pol eines Volta'ſchen Elementes wird nun bei *a*, der andere bei *c* eingeſchraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, gelangt aus derſelben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinſpitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieſer nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieſer Strom macht das Eiſendrahtbündel, welches ſich in der Spirale *S* befindet, magnetiſch, der eiſerne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch die Berührung zwiſchen der Platinſpitze und der Kupferfeder aufgehoben, alſo der Strom unterbrochen; in Folge davon verliert das Eiſendrahtbündel ſeinen Magnetismus, die Feder geht in die Höhe, der Strom wird wieder hergeſtellt, um ſogleich wieder unterbrochen zu werden. So dauert dieſes Spiel der Schließung und Oeffnung der Kette in raſcher Aufeinanderfolge fort; an der Platinſpitze beobachtet man dabei die Lichterſcheinung, welche bereits auf Seite 423 beſchrieben wurde.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptſtromes bildet ſich nun in der Spirale *S* der Extraſtrom, ſobald eine entſprechende Nebenſchließung vorhanden iſt. Befindet ſich der menſchliche Körper in dieſer Nebenſchließung, ſo erhält er die bekannten Schläge; die Einſchaltung des Körpers kann nun hier auf verſchiedene Weiſe ausgeführt werden.

1) Die eine Handhabe iſt bei *b*, die andere bei *c* eingeſetzt; hier bildet der menſchliche Körper eine Nebenſchließung ſtatt der directen Leitung zwiſchen *b* und *c* mittelſt der Kupferfeder. Nach der Unterbrechung des Hauptſtromes bilden jetzt der Elektromotor, die Spirale *S* und der menſchliche Körper eine zuſammenhängende Leitung, der Schlag des Extraſtromes kann alſo durch den Körper gehen.

2) Die eine Handhabe iſt in *a*, die andere in *b* befeſtigt; bei dieſer Combination iſt nach der Unterbrechung des Hauptſtromes der Elektromotor ausgeſchaltet und die Spirale *S* nur noch durch den menſchlichen Körper geſchloſſen, welcher alſo auch in dieſem Falle den Schlag des Extraſtromes erhält.

3) Die eine Handhabe iſt bei *a*, die andere bei *o* eingeſchraubt: jetzt wird nach Unterbrechung des primären Stromes das Volta'ſche Element, welches denſelben lieferte, nur noch durch den menſchlichen Körper geſchloſſen ſeyn, die Spirale *S* iſt ausgeſchaltet, ſie kann alſo ihren Extraſtrom nicht durch den menſchlichen Körper ſenden, man wird alſo in dieſem Falle keinen Schlag empfinden.

Die Figur 248 iſt nach einem vom Mechanicus Hild in Cöln trefflich ausgeführten Apparate, von dem er mir eine Zeichnung mitzutheilen die Güte hatte, gemacht. Ganz ähnlich ſind auch die Apparate eingerichtet, welche Dr. Reinſch in der mechaniſchen Werkſtätte der Gewerbeſchule zu Zweibrücken anfertigen läßt.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß ſich daſſelbe Princip der Stromunterbrechung auch bei eigentlichen Inductionsapparaten in Anwendung bringen läßt. Denken wir uns die Spirale *S*, welche in dieſem Falle aus dickerem Drahte beſtehen kann, mit einer zweiten dünndrahtigen Inductionsſpirale umgeben, deren freie Drahtenden mit metallenen Handgriffen

verſehen ſind, ſo wird der Körper, welcher die Handhaben faßt, den Schlag des Inductionsſtroms erhalten, welcher bei dem an der Platinſpitze ſtattfindenden Oeffnen und Schließen des Hauptſtroms in der äußeren Spirale inducirt wird.

253 **Wirkung von Eiſendrahtbündeln auf die Stärke des Extraſtromes.** Wenn in einer Drahtſpirale, welche in den Schließungsbogen eines Volta'ſchen Elementes eingeſchaltet iſt, ein Bündel von Eiſendrähten liegt, ſo iſt der Oeffnungsſchlag weit ſtärker, als wenn ein maſſiver Eiſencylinder eingeſchoben iſt. Dieſe Beobachtung wurde zuerſt von Bachhoffner und Sturgeon gemacht (Annales of Electricity Vol. I. p. 481). Eine nähere Unterſuchung dieſer merkwürdigen Erſcheinung wurde von Magnus unternommen und in Poggendorff's Annalen Band XLVIII. S. 95 publicirt.

Früher glaubte man, die Wirkung der Drahtbündel beruhe darauf, daß das zum Draht verwendete Eiſen ein viel weicheres ſey als das zu Stäben verarbeitete. Magnus zeigte aber, daß ſelbſt Bündel von gehärtetem Stahl noch ſtärkere Zuckungen geben als ein maſſiver Cylinder des weichſten Eiſens; die ſtärkere Wirkung der Drähte beruht alſo auf der Trennung der Maſſe. Sind die einzelnen Drahtſtäbchen durch Firniß oder durch Ueberſpinnen vor metalliſcher Berührung geſchützt, ſo wird dadurch die Wirkung noch etwas erhöht.

Um zu unterſuchen, ob vielleicht die Drahtbündel durch den Strom der Spirale ſtärker magnetiſirt würden als ein maſſiver Eiſenſtab, beobachtete Magnus die Ablenkung einer in der Nähe aufgeſtellten Buſſole; es ergab ſich, daß die Drahtbündel keineswegs ſtärker magnetiſirt waren, daß alſo die ſtärkeren Zuckungen, welche ſie hervorbringen, nur durch Induction beim Oeffnen der Kette entſtehen.

Ein Bündel von Eiſenſtäbchen wurde durch leichtflüſſiges Metall zu einem Cylinder zuſammengeſchmolzen; dieſer gab aber jetzt keine ſo ſtarke Wirkung als ein maſſiver Eiſenſtab; das Drahtbündel hatte alſo die verſtärkende Kraft durch die metalliſche Verbindung der einzelnen Stäbchen verloren. Daſſelbe Reſultat ergab ſich, als das Drahtbündel in einem hohlen Cylinder leicht flüſſigen Metalls von 1/4 Zoll Wanddicke und in eine dünnwandig gezogene Meſſingröhre geſteckt wurde; wurde aber die eine oder die andere dieſer Umhüllungen der Länge nach aufgeſchlitzt, ſo trat die Wirkung der Drähte ganz auf dieſelbe Weiſe wieder hervor, wie wenn gar keine Umhüllung vorhanden wäre.

Faraday erklärt die vermehrte Wirkung beim Oeffnen eines durch eine Spirale laufenden Stromes im Weſentlichen auf folgende Weiſe: Der elektriſche Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt, wenn die

Kette unterbrochen wird, in einer benachbarten parallel laufenden Drahtwindung einen Inductionsſtrom von gleicher Richtung; fehlt aber dieſer Nebendraht, ſo erzeugt der Strom bei ſeinem Verſchwinden dieſen gleich gerichteten Strom in dem Schließungsdrahte ſelbſt, indem eine Windung auf die andere inducirend wirkt.

Wenn ſich nun aber innerhalb der Spirale ein Eiſenſtab befindet, ſo verſchwindet beim Oeffnen der Kette gleichzeitig auch der durch den Strom im Eiſen hervorgerufene Magnetismus; das Verſchwinden des Magnetismus wirkt aber wie das Verſchwinden von elektriſchen Strömen; der verſchwindende Magnetismus inducirt in dem Leitungsdrahte gleichfalls einen Strom, welcher dem verſchwindenden Strome des Drahtes gleich gerichtet iſt, daher die Verſtärkung durch das Eiſen.

Dieſe Erklärung bedarf nun, wie Magnus nachweiſt, noch einer Ergänzung. Der verſchwindende Strom im Draht inducirt nämlich auch gleich gerichtete Ströme im Eiſen, wodurch dem Verſchwinden des Magnetismus entgegengewirkt und die verſtärkende Wirkung deſſelben geſchwächt wird. Alles, was die Bildung dieſer Ströme in der Eiſenmaſſe hindert, wird alſo natürlich auch die Wirkung des verſchwindenden Magnetismus erhöhen müſſen; da nun in einem Drahtbündel die durch das Verſchwinden des Hauptſtromes inducirten Ströme nicht ſo ungehindert ſich bilden können wie im maſſiven Eiſen, ſo iſt klar, daß der Effect des verſchwindenden Magnetismus des Drahtbündels auch nicht durch dieſe Ströme vermindert wird, wie dies beim maſſiven Eiſen der Fall iſt.

Wenn das Eiſendrahtbündel mit einer Hülle umgeben iſt, die aus einem nicht magnetiſchen Metall beſteht, ſo wird der verſchwindende Magnetismus der Eiſenſtäbchen zunächſt ſeine inducirende Wirkung auf ſeine metalliſche Hülle äußern und nicht auch auf die Spirale, weshalb in dieſem Falle das Drahtbündel kaum ſo viel wirkt wie ein maſſiver Eiſenſtab.

Eiſerne Röhren verſtärken gleichfalls den Oeffnungsſchlag mehr als maſſive Cylinder, und zwar um ſo mehr, je mehr bei gleichem äußeren Durchmeſſer die Maſſe abnimmt, daher eine Röhre von Eiſenblech ſtarke Zuckungen giebt. Werden die Röhren der Länge nach aufgeſchlitzt, ſo wird der Schlag ebenfalls verſtärkt; dieſe durch das Aufſchlitzen bewirkte Verſtärkung iſt namentlich merklich bei dickeren Wänden, wie z. B. bei einem Flintenlauf, weniger bedeutend bei dünnen Blechröhren.

Ein ſpiralförmig gewundenes Eiſenblech, deſſen Querſchnitt keinen in ſich geſchloſſenen Leiter bildet, wirkt auch wie ein Drahtbündel.

Alle dieſe Erſcheinungen laſſen ſich auf das oben angedeutete Erklärungsprincip zurückführen.

254 **Inducirte Ströme, welche bei galvanometriſcher Gleichheit ungleich phyſiologiſch wirken.** Der galvanometriſche Effect eines Stromes iſt der chemiſchen Wirkung ſtets proportional. Anders verhält es ſich, wie Dove durch gründliche Unterſuchungen nachgewieſen hat, mit den phyſiologiſchen Wirkungen. Für Maſchinen-Elektricität hatte man längſt einen ſolchen Unterſchied gefunden, denn der den Körper heftig erſchütternde Schlag der Leidner Flaſche vermag nicht die Magnetnadel abzulenken; er erlangt dieſe Eigenſchaft erſt dadurch, daß man die Entladung verzögert, etwa durch Einſchaltung einer naſſen Schnur, wodurch aber die phyſiologiſche Wirkung verſchwindet.

Aehnliche Verhältniſſe ſtellen ſich nun auch bei Strömen anderer Elektricitätsquellen heraus. Die gewöhnlichen galvaniſchen Ströme, mächtig auf die Magnetnadel wirkend, ſind nicht im Stande merkliche phyſiologiſche Wirkungen hervorzubringen, während die Inductionsſtröme bei unbedeutendem galvanometriſchen Effect heftige Zuckungen veranlaſſen.

Vorſſelmann de Heer berichtet von einer Inductionsſpirale, welche heftige Schläge gab, ohne einen merklichen galvanometriſchen Effect zu geben. Auf einem hölzernen Cylinder waren 90 Fuß eines $1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahtes ſpiralförmig aufgewickelt, über dieſe Spirale aber eine zweite, beſtehend aus einem 1500 Fuß langen Kupferdraht von $1/_{90}$ Zoll Durchmeſſer. Die erſte Spirale bildet den Schließungsdraht der Kette, die letztere den Inductionsdraht. Schloß man dieſe Inductionsſpirale durch den Körper, ſo erhielt man einen wahrhaft unerträglichen Schlag, ſo oft der die innere kürzere Spirale durchlaufende Strom unterbrochen wurde. Schaltete man aber zwiſchen den Drahtenden der Inductionsſpirale ſtatt des menſchlichen Körpers ein Galvanometer ein, ſo wich die Nadel deſſelben nicht von der Stelle, wenn der Hauptſtrom unterbrochen wurde. (P. A. XLVI. 530.)

Aus einer Verſtärkung der phyſiologiſchen Effecte läßt ſich alſo durchaus nicht auf eine vermehrte galvanometriſche Wirkung ſchließen, und ſo hat denn auch Dove nachgewieſen, daß die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln ſtatt maſſiver Eiſenkerne hervorgebracht werden, keinesweges von einer Verſtärkung des Stromes herrühren. (P. A. XLIX. 72.)

Zu dieſen Verſuchen wandte er eine Vorrichtung an, welche er mit dem Namen eines Differential-Inductors bezeichnete. Auf zwei Holzröhren von 18½ Linien innerer Weite wurden Kupferdrähte von 2½ Linien Dicke aufgewunden, und zwar ſo, daß auf jeden Cylinder 29 Windungen kamen; dieſe beiden Drahtwindungen bildeten, mit einander verbunden, den Schließungsdraht einer galvaniſchen Kette. In dieſe mit dem Hauptdraht umgebenen Holzröhren wurden nun zunächſt die Inductions-

ſpiralen gelegt, von denen jede aus 400 Fuß eines $1/_2$ Linie dicken überſponnenen Drahtes beſtand. Dieſe Rollen waren kreuzweiſe verbunden, ſo daß die Richtung des inducirten Stromes der einen Drahtrolle der Richtung des in den andern erregten entgegengeſetzt war. — Die freien Enden dieſer Inductionsrollen wurden darauf vermittelſt Handhaben durch den Körper oder durch ein Galvanometer geſchloſſen.

War in die Höhlung der beiden Inductionsſpiralen kein Eiſen eingelegt, ſo hob ſich natürlich ihre Wirkung gegenſeitig auf. Bei Schließung und Oeffnung der Kette erhielt weder der Körper einen Schlag, noch zeigte das Galvanometer eine Ablenkung. Dieſes Gleichgewicht wurde aber alsbald geſtört, wenn ein Eiſenſtab in eine der Spiralen eingeſchoben wurde.

Die zu dieſen Verſuchen dienenden Cylinder verſchiedener Eiſenſorten waren 11 Zoll 7 Linien lang, und hatten 11 $1/_2$ Linien im Durchmeſſer.

War durch Einſchieben eines Eiſenſtabes in die eine Spirale das Gleichgewicht geſtört worden, ſo konnte es durch allmäliges Hinzufügen von Eiſendrähten in die andere Spirale wieder hergeſtellt werden. Die Zahl der Eiſenſtäbchen, welche dieſe Compenſation bewirkte, war aber für das Gefühl und das Galvanometer nicht dieſelbe. Im Folgenden iſt angegeben, wie viel Eiſenſtäbchen in die eine Spirale eingeſchoben werden mußten, um die Wirkung des in der andern befindlichen Eiſenſtabes zu compenſiren, und zwar je nachdem dieſer Stab aus verſchiedenem Material verfertigt war.

	Für das Galvanometer.	Für das Gefühl.
Schmiedeeiſen . . .	110 + x	15
Weicher Stahl . . .	92	24
Harter Stahl . . .	28	7
Graues Roheiſen . .	27	11

Bei dem Schmiedeeiſen reicht die in die Höhlung der Spirale hineingehende Anzahl der Drähte nicht hin, um das galvanometriſche Gleichgewicht herzuſtellen.

Ohne Ausnahme iſt alſo die zur Compenſation einer maſſiven Eiſenmaſſe erforderliche Drahtmenge für das Galvanometer größer als für das Gefühl, oder mit anderen Worten: bei gleichem galvanometriſchen Effect iſt die von dem Drahtbündel herrührende Erſchütterung bedeutender als die der maſſiven Eiſenmaſſe.

»In Beziehung auf das galvanometriſche Gleichgewicht,« ſagt Dove, »muß noch eine eigenthümliche Erſcheinung erwähnt werden, welche dafür ſpricht, daß die Steigerung der Ströme bis zu dem Maximum ihrer »Intenſität bei gleicher mittlerer Stärke nicht in derſelben Zeit geſchieht. »Angenommen, die Anzahl der Drähte überwiege den maſſiven Cylinder,

»ſo daß der Ausſchlag der Nadel im Sinne des durch die Dråhte erzeug»ten Stromes geſchieht, und man vermindert dieſen Ueberſchuß durch »Herausnehmen von Dråhten allmålig, ſo ſieht man nicht die Ablenkung »durch immer kleiner werdende Ausſchlåge in die entgegengeſetzte durch »Null übergehen, ſondern man ſieht die Nadel, wie von einem ſchnellen »kurzen Stoße getrieben, nach der Seite des früheren Ausſchlags ſich be»wegen, dann plötzlich anhalten und im Sinne des andern Stromes weit »langſamer zurückgehen. Dieſe zuckende Bewegung findet auch dann »noch ſtatt, wenn der zweite Strom bereits überwiegt, ſo daß dem kurzen »Stoße auf der einen Seite dann eine weitere Schwingung nach der ent»gegengeſetzten folgt.«

Dieſe Zuckung rührt nun offenbar daher, daß der Strom, welcher durch die Eiſendråhte inducirt wird, raſcher verlaufend ſeine Wirkung zuerſt auf die Nadel ausübt. Demnach aber wird das »galvanometriſche Gleichgewicht« bei dieſen Verſuchen mit dem Differentialinductor gar nicht durch die ungeſtörte Ruhe der Nadel erkannt. Die Beſtimmung des galvanometriſchen Gleichgewichts hat alſo nach dieſer Methode immerhin etwas Mißliches.

Auch ohne Differentialinductor laſſen ſich die eben beſprochenen Reſultate im Weſentlichen nachweiſen. Mit einer Inductionsſpirale von 1½ Millimeter dickem Draht (die Långe deſſelben iſt mir unbekannt) erhielt ich beim Oeffnen und Schließen des Hauptſtroms an einen Multiplicator folgende Ablenkungen durch den Inductionsſtrom:

Ohne Einſchiebung	6,5°
Mit einem Bündel dünner Eiſendråhte (1^{mm} dick, gefirnißt)	45°
Mit einem Bündel dicker Eiſendråhte (1 Linie Dick, gefirnißt)	48°
Mit einem maſſiven Eiſenkern	63°

Der Hauptſtrom war durch ein kleines Daniell'ſches Element erzeugt worden. Bei raſch auf einander folgenden Schließungen und Oeffnungen des Hauptſtromes waren ohne Einſchiebung die Schlåge, ſelbſt bei befeuchteten Hånden, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einſchiebung des maſſiven Eiſenſtabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stårke durch 2 Perſonen, nach Einſchiebung des Bündels dickerer Dråhte durch 4, während das Bündel dünner Dråhte die Schlåge in gleicher Stårke in einer Kette von 5 Perſonen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eiſenſtåbchen geben, in die Spirale eingeſchoben, eben ſo ſtarke Schlåge wie der maſſive Eiſenſtab, bei phyſiologiſcher Gleichheit waren aber die galvanometriſchen Wirkungen ſehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Ståbchen 28°

für die 5 dickeren Stäbchen 36°
für den maſſiven Eiſenſtab 63°

Mit einer andern Inductionsſpirale, welche aus 1800 Fuß eines nur 1mm dicken Drahtes gebildet war, zeigten ſich die galvanometriſchen Effecte bei weitem ſchwächer (ohne Einſchiebung von Eiſen höchſtens 2°, bei eingeſchobenem maſſivem Eiſenſtab 20°), während die phyſiologiſchen Effecte viel kräftiger waren.

Aus den obigen Verſuchen Dove's geht auch hervor, daß das graue Roheiſen ſich in ſeinen inducirenden Wirkungen dem Drahtbündel am meiſten anſchließt; man hätte demnach daſſelbe als eine Subſtanz anzuſehen, in welcher das magnetiſirbare Eiſen kein zuſammenhängendes Continuum bildet.

Im Magnetiſiren von Stahlnadeln zeigte ſich der durch die Drahtbündel, im Magnetiſiren von weichem Eiſen der durch den Eiſenſtab inducirte Strom überwiegend.

Da nun das Elektromagnetiſiren des weichen Eiſens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetiſiren des Stahls aber auch bei den plötzlichſten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Verſuchen mit Reibungselektricität weiß, daß durch Abgleichen eines gleich großen elektriſchen Gegenſatzes ſehr verſchiedene Wirkungen entſtehen, je nach der Dauer dieſes Abgleichens, indem eine raſche Entladung Schläge, eine langſame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, ſo kann dies Reſultat als ziemlich entſcheidend für die Annahme gelten, daß in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine beſtimmte Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit ſich durch den Draht bewegt, als wenn dieſelbe durch einen maſſiven eiſernen Cylinder in Bewegung geſetzt wird.

Eiſerne Röhren, wie ein Flintenlauf, eine Blechröhre u. ſ. w., zeigten in Beziehung auf die Inductionsſtröme (Nebenſtröme) ein ähnliches Verhalten, wie es bereits Sturgeon und Magnus für den Gegenſtrom (Extraſtrom) ermittelt hatten.

Der durch den Schließungsdraht einer Thermoſäule inducirte Strom verhält ſich genau ſo, wie der durch den Schließungsdraht einer galvaniſchen Kette hervorgebrachte; das gleiche Reſultat erhielt Dove auch für den Strom einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine.

Ströme, inducirt durch Eiſen, welches durch Entladung einer elektriſchen Batterie elektromagnetiſirt wurde. 255 Die Unterſuchungen, welche Dove über den Inductionsſtrom der Leidner Flaſche anſtellte, können erſt hier abgehandelt werden, weil ſie mit dem eben beſprochenen in naher Beziehung ſtehen. — Für Reibungselektricität conſtruirte

Dove einen beſondern Differentialinductor, nach dem oben angegebenen Princip, bei welchem aber ganz beſondere Sorgfalt auf gehörige Iſolation der Drähte verwendet worden war. — Bei kreuzweiſer Verbindung der Nebenſpiralen findet natürlich Stromgleichheit ſtatt, welches Prüfungsmittel man auch anwenden mag, ſo lange die Spiralen leer bleiben; dieſes Gleichgewicht wird aber ſogleich aufgehoben, ſobald ein Metall in eine der Spiralen eingeſchoben wird; der dann hervortretende Strom wirkt aber nicht auf die Galvanometornadel; er giebt, auf Jodkalium geprüft, keine chemiſche Zerſetzung, und magnetiſirt weiches Eiſen nicht in der Weiſe, daß eine danebenſtehende Magnetnadel abgelenkt würde, oder darauf geſtreute Eiſenfeile ſich aufrichtete.

Die phyſiologiſche Wirkung eines durch den Schließungsdraht der Batterie im Nebendraht inducirten Stroms wird durch Einſchieben von Stäben aller nicht magnetiſchen Metalle geſchwächt, und zwar um ſo mehr, je beſſer leitend das Metall iſt. Bei vorher compenſirten Spiralen erhält man daher deſto ſtärkere Erſchütterungen, je beſſer leitend das in eine derſelben hineingelegte Metall iſt. Der nach der Methode von Rieß durch die Harzfiguren geprüfte Strom geht dabei von den leeren Spiralen aus, die hervortretende Erſchütterung iſt alſo eine Folge des ſchwächenden Einfluſſes des eingeführten Metalls.

Aufgeſchlitzte Metallröhren wirken nicht in dieſer Weiſe ſchwächend.

Cylinder von Schmiedeeiſen, Stahl, Gußeiſen ſo wie auch Röhren von Eiſenblech, welche nicht aufgeſchlitzt ſind, ſchwächen ebenfalls die phyſiologiſche Wirkung des Stromes.

Die phyſiologiſche Wirkung wird hingegen verſtärkt durch aufgeſchlitzte eiſerne Röhren und beſonders durch gut iſolirte Drahtbündel von Eiſen. Ein in den Handgelenken fühlbarer Schlag der gleichartig verbundenen Nebenſpiralen ging bei Einführung zweier ſolcher Drahtbündel bis in die Hälfte des Oberarms, während er durch Einführung zweier Cylinder von Schmiedeeiſen ſo geſchwächt wurde, daß er nur in den Vorderhänden bemerkbar war.

Hier zeigte ſich alſo ein weſentlicher Unterſchied in der inducirenden Wirkung des Eiſens, je nachdem daſſelbe durch den Strom einer galvaniſchen Kette oder den Entladungsſtrom einer Leidner Flaſche magnetiſirt wird. Die inducirende Wirkung des ſpiralförmigen Schließungsdrahtes einer galvaniſchen Kette auf einen Nebendraht wird nämlich ſtärker, wenn Eiſen in beliebiger Form in denſelben hineingelegt wird, während der Schließungsdraht einer Leidner Flaſche ſchwächer inducirend auf den Nebendraht wirkt, wenn eine maſſive Eiſenſtange in ihn hineingelegt wird, als wenn er leer iſt, hingegen ſtärker, wenn dies Eiſen in Form eines Drahtbündels angewendet wird.

In Beziehung auf das Magnetiſiren von Stahlnadeln durch den Inductionsſtrom ſind die Erſcheinungen ganz dieſelben, der primäre Strom mag durch galvaniſche Elektricität oder durch Reibungselektricität hervorgebracht ſeyn, und es findet hier nicht der Unterſchied ſtatt, welcher in Beziehung auf die phyſiologiſchen Effecte ſich zeigt.

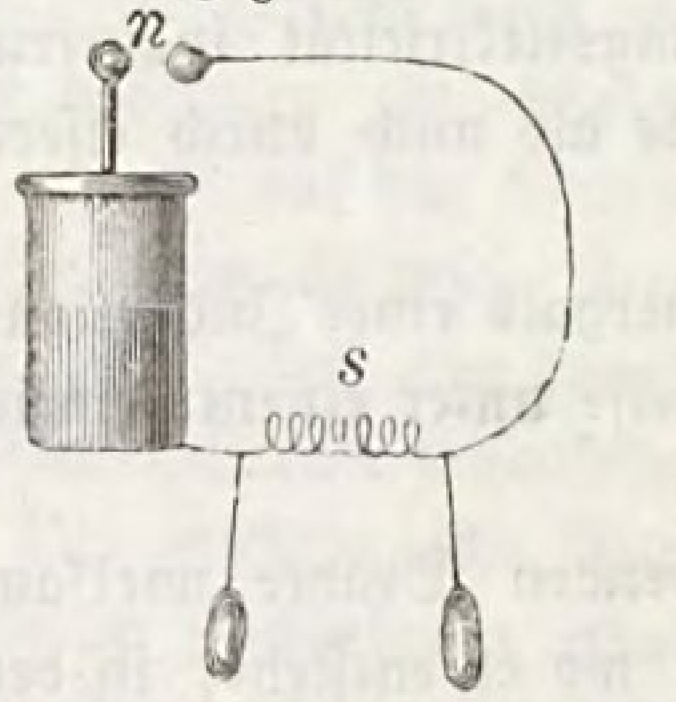
Die thermiſchen Effecte des durch Reibungselektricität inducirten Stromes werden ſowohl durch maſſive Eiſenſtäbe als auch durch eiſerne Drahtbündel geſchwächt.

Die verſchiedenen Effecte, welche das Eiſen innerhalb einer Inductionsſpirale hervorbringt, faßt Dove in folgender Weiſe unter einem gemeinſchaftlichen Geſichtspunkt zuſammen.

»Der in einem, das Eiſen ſpiralförmig umgebenden Drahte wirkſame »primäre elektriſche Strom erzeugt im Momente, wo er entſteht, in dem »Eiſen elektriſche Ströme, während ſeiner Dauer magnetiſche Polarität, »welche ſich langſamer ſteigert als jener Strom, im Moment ſeines Auf»hörens wiederum einen elektriſchen Strom. Der beim Aufhören des pri»mären Stromes erzeugte zweite elektriſche, mit dem primären gleichge»richtete Strom wirkt dem durch den Magnetismus erzeugten entge»gen. — Hatte, wie es beim galvaniſchen Magnetiſiren der Fall iſt, der »Magnetismus während der längeren Dauer des Stromes Zeit ſich zu »entwickeln, ſo überwiegt die Wirkung deſſelben die entgegengeſetzte des »bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektriſchen Stromes. »Alle gegen die Bildung elektriſcher Ströme angewandten Mittel ſteigern »daher nur eine vom maſſiven Eiſen bereits auch ausgeübte Wirkung. »Iſt hingegen der primäre Strom ſo ſchnell vorübergehend, wie der einer »ſich entladenden elektriſchen Batterie, hatte alſo der Magnetismus nicht »Zeit ſich vollſtändig zu entwickeln, ſo überwiegt der bei dem Aufhören »des primären Stromes erzeugte elektriſche die Wirkung des verſchwin»denden Magnetismus. Das Zerſtören dieſer elektriſchen Ströme durch »Auflöſen der Maſſe in Drähte, kehrt daher hier die Wirkung völlig um, »indem es den Ausſchlag erſt auf Seiten des verſchwindenden Magnetis»mus bringt, der vor dieſer Trennung auf Seiten der elektriſchen Ströme »war. — Die Gleichgewichtsgränze beider iſt aber für die ther»miſchen, phyſiologiſchen und magnetiſchen Wirkungen nicht »dieſelbe, weil nämlich die Abhängigkeit jeder einzelnen derſelben von der »Intenſität des verſchwindenden Magnetismus eine andere ſeyn wird, als »ihre Veränderung durch den entgegenwirkenden elektriſchen Strom; für »die magnetiſirenden Wirkungen waltet daher noch die Wirkung des ver»ſchwindenden Magnetismus vor, wenn für die thermiſchen hingegen »der elektriſche Strom überwiegt und die phyſiologiſchen Erſcheinun»gen auf beide Seiten dieſer Gränze fallen.«

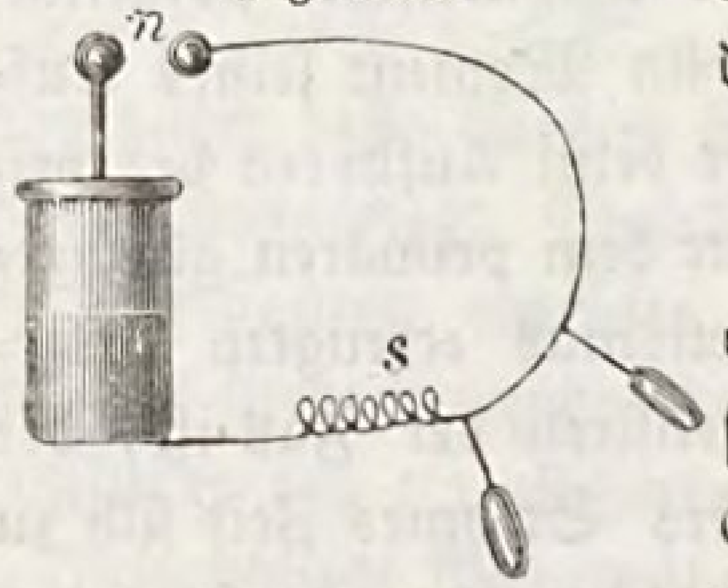
256 **Extraſtrom für Reibungselektricität.** Auch dieſen hat D o v e experimentell nachgewieſen, und zwar auf folgende Weiſe. In dem Schließungsbogen der Leidner Flaſche iſt der ſpiralförmig gewundene Draht *s* Fig. 249 eingeſchaltet. Iſt nun eine Nebenſchließung, die mittelſt der Handhaben durch den Körper in der Weiſe angebracht wird, wie es Fig. 249 zeigt, ſo erhält man in dem Moment, in welchem ein Funke bei *n* überſpringt, eine Erſchütterung, welche ausbleibt, wenn die Nebenſchließung wie in Fig. 250 angebracht iſt. Im erſtern Falle iſt der ſpiralförmige Theil des Schließungsdrahtes durch den Körper geſchloſſen, im letztern nicht.

Fig. 249.



Wird bei der Anordnung Fig. 249 ein Bündel Eiſendraht in die Spirale gelegt, ſo wird der Schlag dadurch verſtärkt.

Fig. 250.



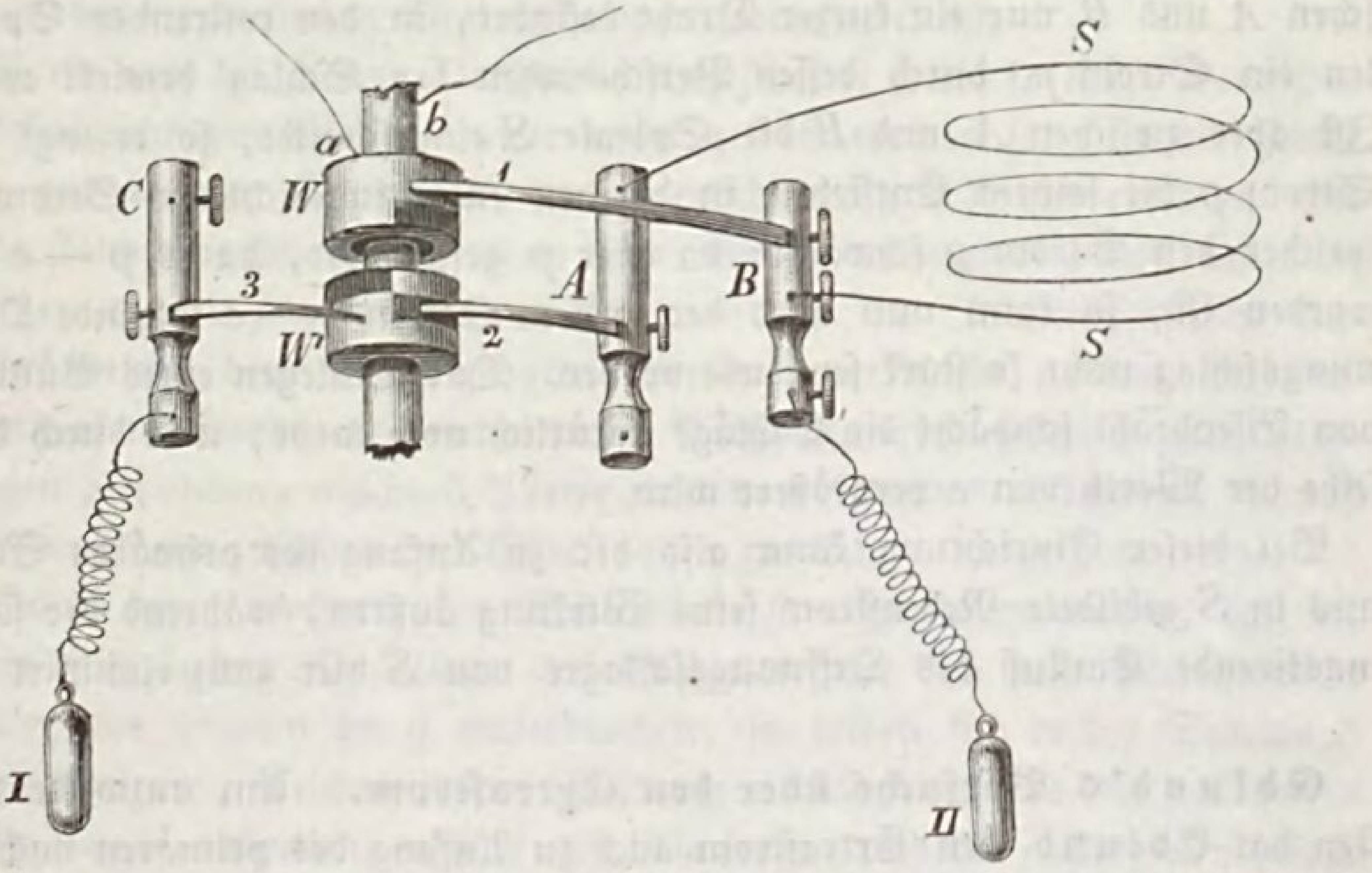
257 **Gegenſtrom zu Anfang und zu Ende eines primären.** Nach F a r a d a y's Anſicht, ſoll ſich, der Induction an einem Nebendraht analog, bei Schließung eines V o l t a'ſchen Elementes durch einen langen ſpiralförmig gewundenen Draht ein G e g e n ſt r o m (Extraſtrom) bilden, welcher dem primären entgegen wirkt, alſo ſeine Wirkung ſchwächt, während beim Oeffnen der Kette ein dem primären g l e i ch g e r i ch t e t e r Extraſtrom ſich bildet, weshalb denn auch der Oeffnungsſchlag und der Oeffnungsfunke kräftig ſind, während beim Schließen der Kette keine poſitive Wirkung zu verſpüren iſt.

Die Exiſtenz des bei der Schließung der Kette ſich bildenden Gegenſtroms iſt erſt von D o v e auf experimentellem Wege genügend nachgewieſen worden. (P. A. LVI, 251.)

Er wandte zu dieſem Zweck als primären Strom den einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine an, von welcher die zum Verſtändniß nothwendigen Theile Fig. 251 abgebildet ſind. Auf der Rotationsaxe ſind zwei eiſerne Walzen angebracht, *W* von der eiſernen Axe iſolirt, *W'* unmittelbar auf derſelben ſitzend. Bei *a* iſt das eine, bei *b* das andere Drahtende der Inductionsrollen befeſtigt, ſo daß alſo *W* gleichſam den einen, *W'* den andern Pol der rotirenden Drahtrollen bildet. Auf der ganz metalliſchen Oberfläche von *W* ſchleift die Metallfeder 1, auf *W'* ſchleifen die Federn 2 und 3. Nun aber befindet ſich auf *W'* ein Holzeinſatz, welcher ſo geſtellt iſt, daß die Feder 2 auf denſelben kommt, wenn die Verbindungslinie der beiden rotirenden Rollen rechtwinklig ſteht auf

der Verbindungslinie der beiden Pole; die Feder 3 iſt mit W' beſtändig in metalliſcher Verbindung.

Fig. 251.



Zwiſchen den Ständern A und B iſt entweder ein kurzer dicker Draht oder eine Spirale S eingeſchaltet, welche aus einem langen dünnen überſponnenen Drahte gebildet iſt, und in deren Höhlung man Bündel von Eiſendrähten hineinlegen kann.

In die Ständer B und C ſind die Handhaben I und II eingeſchraubt.

Während der Rotation des Ankers von 0 bis 90°, d. h. von der horizontalen Stellung vor den Polen des Magneten bis zur lothrechten, ſenkrecht auf die Verbindungslinie derſelben ſind die rotirenden Spiralen vollkommen metalliſch geſchloſſen; der Strom geht von W durch die Feder 1 auf den Ständer A, von da durch den kurzen Draht oder die Spirale S über B durch 2 nach W'. Sobald aber die Feder 2 auf den Holzeinſatz kommt, iſt dieſe Circulation unterbrochen, der Oeffnungsſchlag der rotirenden Spiralen geht nun durch die von dem menſchlichen Körper zwiſchen I und II gebildete Nebenſchließung, während die Spirale S ganz ausgeſchaltet iſt, der Oeffnungsſtrom der Spirale S iſt alſo ausgeſchloſſen, während der Schließungsſtrom derſelben ſeine Wirkung äußern kann.

Faßt man I und II in die Hände, ſo fühlt man die Schläge am heftigſten, wenn A und B nur durch einen kurzen dicken Draht verbunden ſind, wenn alſo die Spirale S gar nicht da iſt. — Wird der kurze Verbindungsdraht durch die Spirale S erſetzt, ſo ſind die Schläge ſchwächer, noch ſchwächer, wenn in die Spirale S ein Bündel von Eiſendraht eingeſchoben wird.

Daraus ergiebt ſich nun, wenn ich Dove's Auseinanderſetzung richtig

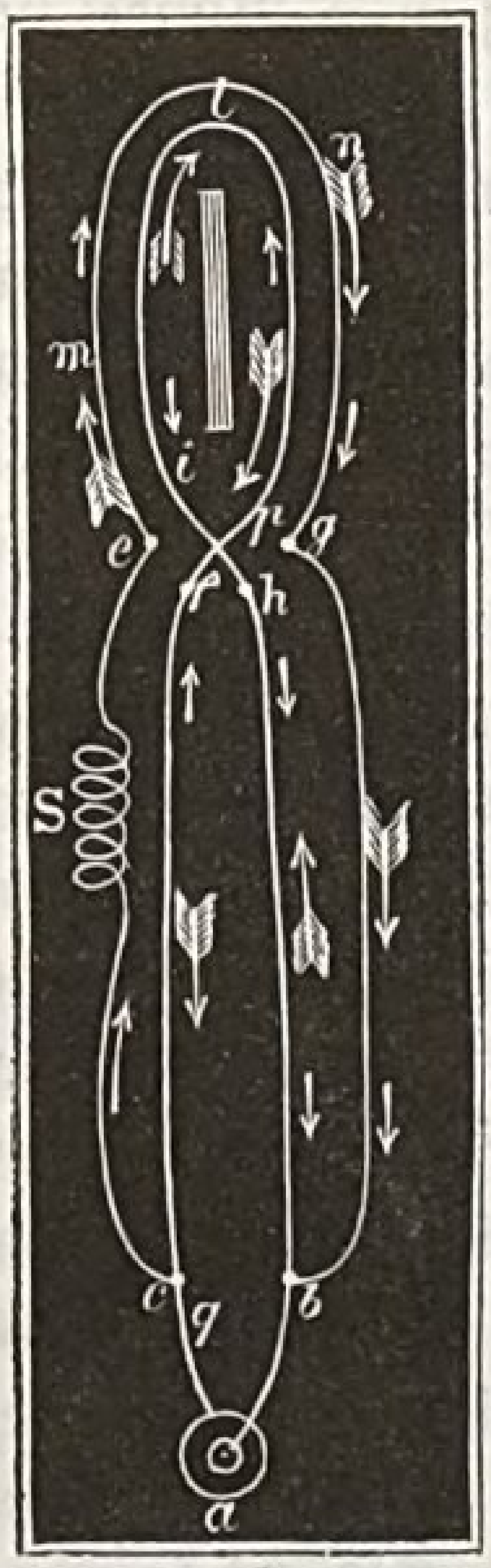
aufgefaßt habe, die Exiſtenz des Gegenſtroms zu Anfang des primären auf folgende Weiſe:

Durch die Rotation vor den Magnetpolen bildet ſich, wenn ſich zwiſchen *A* und *B* nur ein kurzer Draht befindet, in den rotirenden Spiralen ein Strom *p*, durch deſſen Verſchwinden der Schlag bewirkt wird. Iſt aber zwiſchen *A* und *B* die Spirale *S* eingeſchaltet, ſo erzeugt der Strom *p* bei ſeinem Entſtehen in *S* einen entgegengerichteten Strom *e*, welcher den Strom *p* ſchwächt; da aber *p* geſchwächt, da es $p - e$ geworden iſt, ſo kann nun auch der dieſem Strom $p - e$ folgende Oeffnungsſchlag nicht ſo ſtark ſeyn wie vorher. Das Einlegen eines Bündels von Eiſendraht ſchwächt die Schläge natürlich noch mehr, weil durch daſſelbe der Werth von *e* vergrößert wird.

Bei dieſer Einrichtung kann alſo der zu Anfang des primären Stromes in *S* gebildete Nebenſtrom ſeine Wirkung äußern, während der ſonſt maskirende Einfluß des Oeffnungsſchlages von *S* hier ganz eliminirt iſt.

258 **Edlund's Verſuche über den Extraſtrom.** Am unzweideutigſten hat Edlund den Extraſtrom auch zu Anfang des primären nachgewieſen. (P. A. LXXVII, 161.) Der Apparat, den er zu dieſem Zwecke anwandte, hat folgende in Fig. 252 ſchematiſch dargeſtellte Einrichtung. *a* iſt eine galvaniſche Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* führen; von hier führen wieder vier Drähte *bg*, *bh*, *cf* und *ce* zu den Drahtenden zweier Drahtlagen von überſponnenem Kupferdraht, welche ein Magnetometer umgeben und von denen jede für ſich eine geſchloſſene Leitung von mehreren parallel neben einander liegenden Drahtwindungen bildet. *emng* ſtellt die äußere, *fplih* die innere Drahtlage dar. Die Verbindung iſt, wie man leicht überſieht, von der Art, daß der Strom, welchen die Batterie *a* liefert, ſich bei *c* und *b* theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, ſo daß bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung des Magnetometers durch den primären Strom der Kette *a* entſtehen kann. In unſerer Figur iſt der Verlauf des durch den Elektromotor *a* direct erzeugten Stromes durch die ungeflügelten Pfeile ⟶ dargeſtellt.

Fig. 252.



Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, wodurch die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geſchloſſen werden konnte. Um dem

Hauptſtrom eine entgegengeſetzte Richtung geben zu können, war in die Leitung *cab* ein Commutator eingeſchaltet. Das Magnetometer war mit einem Spiegelapparat verſehen und wurde mit einem Fernrohr beobachtet, wie es bei magnetiſchen Beobachtungen gebräuchlich iſt.

Wenn nun bei *S* eine Drahtrolle eingeſchaltet wird, ſo muß, wenn das Gleichgewicht am Magnetometer nicht geſtört werden ſoll, in die Zuleitung zur inneren Drahtlage, etwa zwiſchen *c* und *f*, ein entſprechender Widerſtand eingeſchaltet werden; um aber zu verhindern, daß in dieſer zwiſchen *c* und *f* angebrachten Einſchaltung ein Inductionsſtrom entſtände, welcher dem in *S* erzeugten, welcher unterſucht werden ſoll, entgegenwirken könnte, ſo wurde dieſer Einſchaltungsdraht über zwei Glasſtangen gewunden, welche 3 Meter weit von einander abſtanden, ſo daß alſo der Draht zwiſchen den Glasſtangen geradlinig ausgeſpannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerſtände ſo abgeglichen waren, daß die innere und äußere Drahtlage am Magnetometer ſich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei *q* unterbrochen, ſo bildete ſich in der Spirale *S* ein Extraſtrom, welcher in der Richtung circulirt, wie es die gefiederten Pfeile ⇝⟶ andeuten, welcher alſo, die innere und die äußere Drahtlage in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnetometerſtab ablenken muß.

Wird die Kette wieder geſchloſſen, ſo muß das nämliche Verhältniß ſtattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schließung in *S* inducirte Extraſtrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengeſetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterſchied ſtatt, daß ein Theil des Inductionsſtroms durch die Leitung *cab* ſtrömt.

Aus dem Ohm'ſchen Geſetze läßt ſich aber ableiten, daß die Einwirkung des bei *S* inducirten Stroms auf den Magnetometerſtab die nämliche bleibt, wenn auch ein Theil deſſelben durch die Leitung *cab* geht. — Denken wir uns, der Widerſtand dieſer Leitung ſey gleich Null, ſo geht der ganze Inductionsſtrom nur durch die äußere Drahtlage, gar nicht durch die innere; der durch die äußere Drahtlage gehende Strom wird aber eine beſtimmte Ablenkung *A* bewirken; wäre dagegen der Widerſtand von *cab* unendlich groß, ſo wird der Strom jetzt nur die beiden Drahtlagen mit ihren Zuleitungsdrähten zu durchlaufen haben; bei gleicher elektromotoriſcher Kraft in der Inductionsſpirale iſt jetzt der zu überwindende Leitungswiderſtand doppelt ſo groß als im vorigen Fall, die Stromſtärke alſo halb ſo groß, die halb ſo große Stromſtärke durchläuft aber jetzt in gleicher Richtung beide Drahtlagen, die Einwirkung auf die Magnetnadel iſt alſo in beiden Fällen gleich; daß daſſelbe aber auch für jeden endlichen Werth des Leitungswiderſtandes von *cab* der Fall iſt, ergiebt ſich nach dem Ohm'ſchen Geſetz folgendermaßen. Der Schließungsſtrom der

Spirale gelangt von S nach c und theilt ſich hier in zwei Aeſte, $cfplhb$ und cab. Es ſey R der Widerſtand des erſteren, W der des letzteren, ſo iſt der Geſammtwiderſtand, welchen der Strom auf dem Wege von c bis b zu überwinden hat, $\frac{RW}{R+W}$; der Strom hat aber, von b über n und m nach S zurückkehrend, nochmals den Widerſtand R zu überwinden, die Stärke des Stromes, welche durch die äußere Drahtlage $gnme$ geht, iſt alſo

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}$$

wenn E die elektromotoriſche Kraft bezeichnet, mit welcher die Spirale S den Strom inducirt. Auf den Magnetometerſtab wirkt aber nicht allein die äußere Drahtlage, ſondern auch die innere; dieſe iſt aber von einem Strome durchfloſſen, deſſen Stärke

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}} \cdot \frac{W}{R+W}$$

iſt, mithin können wir die Geſammtwirkung auf den Stab proportional ſetzen

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)=\frac{E}{R\left(1+\frac{W}{R+W}\right)}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)$$
$$=\frac{E}{R}.$$

Die Wirkung auf den Magnetſtab iſt alſo von W, der Größe des Leitungswiderſtandes cab, unabhängig, und zwar gerade ſo groß, als ob zwiſchen cab gar keine leitende Verbindung vorhanden wäre, wie dies bei dem Oeffnungsſtrom wirklich der Fall iſt.

Bei Anſtellung der Verſuche ergab ſich nun, daß der Ausſchlag des Magnetometers beim Schließen der Kette gleich und entgegengeſetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entſteht, und daraus ergiebt ſich, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvaniſchen Kette mittelſt einer Drahtſpirale durch die Einwirkung des Stromes auf ſich ſelbſt entſtehenden Inductionsſtröme gleich groß ſind, wenn die inducirende Stromſtärke in beiden Fällen dieſelbe iſt.

Edlund wiederholte dieſe Verſuche mit 1, 2 und 3 Grove'ſchen Bechern, die er zur Erzeugung des primären Stromes anwandte, und fand, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvaniſchen Kette durch Einwirkung des Stromes auf ſich ſelbſt entſtehenden

Inductionsſtröme der inducirenden Stromſtärke proportional ſind.

Claſſification der elektriſchen Ströme. Dove hat ſeine Unter- 259
ſuchungen über Inductionselektricität, welche theilweiſe in Poggendorff's Annalen erſchienen ſind, in einer Abhandlung zuſammengeſtellt, welche in der Akademie der Wiſſenſchaften zu Berlin geleſen wurde, und von welcher ein beſonderer Abdruck unter dem Titel: »Unterſuchungen im Gebiete der Inductionselektricität« bei Reimer in Berlin im Jahre 1842 erſchien. Am Schluſſe dieſer Abhandlung ordnet nun Dove die verſchiedenen elektriſchen Ströme nach der Zeitdauer, in welcher eine gegebene Elektricitätsmenge ausgeglichen wird. Beſchränken wir uns nun auf die wichtigeren, ſo iſt die Ordnung folgende:

1) Strom der ſich entladenden Leidner Flaſche nebſt ihrem Gegen- und Nebenſtrome; der durch ein Bündel von Eiſendrähten inducirte Strom, wenn daſſelbe durch eine elektriſche Flaſchenbatterie elektromagnetiſirt worden war. — Bei ſtarker phyſiologiſcher Wirkung afficiren ſie ohne Verzögerung des Stromes die Galvanometernadel nicht.

2) Ströme, inducirt durch maſſives vermittelſt Reibungselektricität magnetiſirtes Eiſen.

3) Ströme, durch Drahtbündel inducirt, wenn der magnetiſirende Strom ein galvaniſcher, magnetoelektriſcher oder thermoelektriſcher iſt.

4) Ströme, durch maſſives Eiſen inducirt, wenn die primären Ströme, welche es elektromagnetiſiren, von den eben genannten Quellen ſind.

5) Strom einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine.

6) Strom der geſchloſſenen Hydro- oder Thermokette.

»In der Geſchichte der Wiſſenſchaft,« ſagt Dove am Schluſſe, »iſt »das Anfangs- und Endglied dieſer Reihe zuerſt bekannt geworden. Sie »ſtanden ſo weit auseinander, daß man an ihrer Identität zweifelte. Jetzt, »wo durch die Inductionserſcheinungen eine Menge Mittelglieder gegeben »ſind, iſt die Abſtufung ſo allmälig geworden, daß irgendwo eine Gränze »zu ziehen eine vollkommene Willkür ſeyn würde.«

So iſt denn durch die eben beſprochenen Unterſuchungen unſere Kenntniß von den inducirten Strömen bis zu einem Punkte geführt worden, wo genaue Maaßbeſtimmungen das nächſte Erforderniß zu weiteren Fortſchritten auf dieſem Felde ſind; zunächſt handelt es ſich um genaue Beſtimmung der Stromſtärke und Zeitdauer inducirter Ströme, wozu die auf Seite 659 beſprochene Weber'ſche Methode ein treffliches Mittel bietet, und ihrer Abhängigkeit von der Anzahl der Windungen, Spiralen, ihrem Leitungswiderſtand u. ſ. w.

260 **Elektriſche Spannungserſcheinungen und Funken an ungeſchloſſenen Inductionsſpiralen.** Wenn man bedenkt, wie nach dem Vorhergehenden die Inductionsſtröme gewiſſermaßen ein Mittelglied bilden zwiſchen den galvaniſchen Strömen und den Entladungsſtrömen der Leidner Flaſche, ſo läßt ſich wohl erwarten, daß ſich an den Enden einer geöffneten Inductionsſpirale auch Spannungserſcheinungen in weit höherem Grade zeigen müſſen, als dies an den Polen einer nicht geſchloſſenen galvaniſchen Säule der Fall iſt, bei welcher die Funken erſt dann auftreten, wenn die Anzahl der Paare, aus welchen die Batterie zuſammengeſetzt iſt, ſo enorm vermehrt wird, wie es bei Gaſſiot's Waſſerbatterie (S. 422) der Fall iſt. Sinſteden hat nun elektriſche Spannungserſcheinungen und ſelbſt elektriſche Funken an ungeſchloſſenen Inductionsſpiralen wirklich hervorgebracht. (P. A. LXIX, 353.)

Um die Spannungserſcheinungen an einer elektromagnetiſchen Inductionsrolle nachzuweiſen, wandte Sinſteden folgende Vorrichtung an. Die Magnetiſirungsſpirale, welche den Strom der galvaniſchen Kette leitete, war auf ein 5 Zoll langes und $^5/_4$ Zoll weites Holzrohr gewickelt; ſie beſtand aus dickem Draht. Die raſch auf einander folgenden Unterbrechungen des Stromes wurden durch ein ſogenanntes Blitzrad hervorgebracht, welches in den Schließungsbogen der Kette eingeſchaltet war.

Dieſe Spirale wurde mit Wachstaffet umgeben und darauf eine Inductionsſpirale von 3280 Fuß $^1/_4$ Linie dicken Kupferdraht gewickelt. Die beiden Drahtenden ſtanden ungefähr $1^1/_2$ Fuß frei vor und konnten mittelſt eines iſolirenden Glasſtabes an das Elektrometer gebracht werden. In der Höhlung der den Hauptſtrom leitenden Spirale befand ſich in einer Glasröhre ein 6 Zoll langes, aus iſolirten Eiſendrähten beſtehendes Bündel von 1 Zoll Durchmeſſer.

Wenn durch Drehung des Blitzrades der Hauptſtrom abwechſelnd geöffnet und geſchloſſen wurde, ſo gab jedes der ungeſchloſſenen Enden der Inductionsſpirale nicht nur am Elektrometer ſtarke Elektricität kund, ſondern jedes dieſer Enden gab für ſich auch Funken, wenn ihm ein Leiter genähert wurde, und verurſachte, in Berührung mit der Haut, ein empfindliches Brennen. Alle dieſe Erſcheinungen wurden bedeutend verſtärkt, wenn das gerade nicht unterſuchte Ende der Inductionsſpirale zur Erde abgeleitet war.

Die Funken der Inductionselektricität laſſen ſich am leichteſten zeigen, wenn man die freien Enden der Inductionsſpirale bei gehöriger Iſolirung einander ganz nahe bringt; wird der Stromunterbrecher des Hauptſtroms raſch gedreht, ſo ſieht man an dem kleinen Zwiſchenraum, welcher die Enden der Inductionsſpiralen noch trennt, beſtändig Fünkchen überſchlagen.

Aber nicht allein die Drahtenden der Inductionsſpirale, ſondern auch das Eiſendrahtbündel zeigte Spannungselektricität. Befeſtigte man einen iſolirten Eiſendraht an das vom Glascylinder umgebene Eiſendrahtbündel, und führte ihn an das Elektrometer, ſo divergirten die Goldblätter ſehr ſtark. Näherte man dem Eiſendrahtbündel einen ſpitzigen Leiter, ſo ſchlugen unaufhörlich glänzende Fünkchen über. Berührte man eine ſpitzige Kante des Eiſendrahtbündels mit einer empfindlichen Hautſtelle, ſo fühlte man hier ein ſchmerzhaftes Brennen.

Alle dieſe Erſcheinungen fanden mutatis mutandis auch dann ſtatt, wenn die beſondere Schließungsſpirale ganz beſeitigt war und der Strom der galvaniſchen Kette durch die 3280 Fuß lange Spirale ſelbſt geleitet und unterbrochen wurde. Im Moment der Unterbrechung des Stromes zeigte jedes Ende der Spirale, ſo wie das Eiſendrahtbündel, jedes für ſich Funken, elektrometriſche und phyſiologiſche Erſcheinungen. Auch zeigten ſich dieſe Erſcheinungen an den Enden der Spirale, wenn ſtatt des Eiſendrahtbündels ein maſſiver Eiſenkern oder auch gar kein Eiſenkern in der Spirale ſteckte; nur waren ſie ſchwächer

Faßte man mit der einen Hand das Drahtende der Inductionsſpirale, welches die äußerſten Windungen macht, und welches mit *A* bezeichnet werden mag, berührte man mit der anderen Hand das eine oder andere Ende der Schließungsſpirale, ſo empfand man ganz merkliche Erſchütterungen, die ſich bis in das Handgelenk erſtreckten. Dieſe Erſchütterungen ſind, wie auch Sinſteden bemerkt, bereits von Maſſon und Breguet beobachtet worden (Archives de l'électricité 1842. p. 381). Faßte man das andere der Schließungsſpirale zunächſt liegende Ende der Inductionsſpirale, welches *B* heißen mag, mit einer Hand und mit der anderen ein Ende der Schließungsſpirale, ſo fühlte man nicht nur kein Zucken, ſondern auch das Brennen, welches das Ende *B* für ſich allein verurſachte, hörte auf.

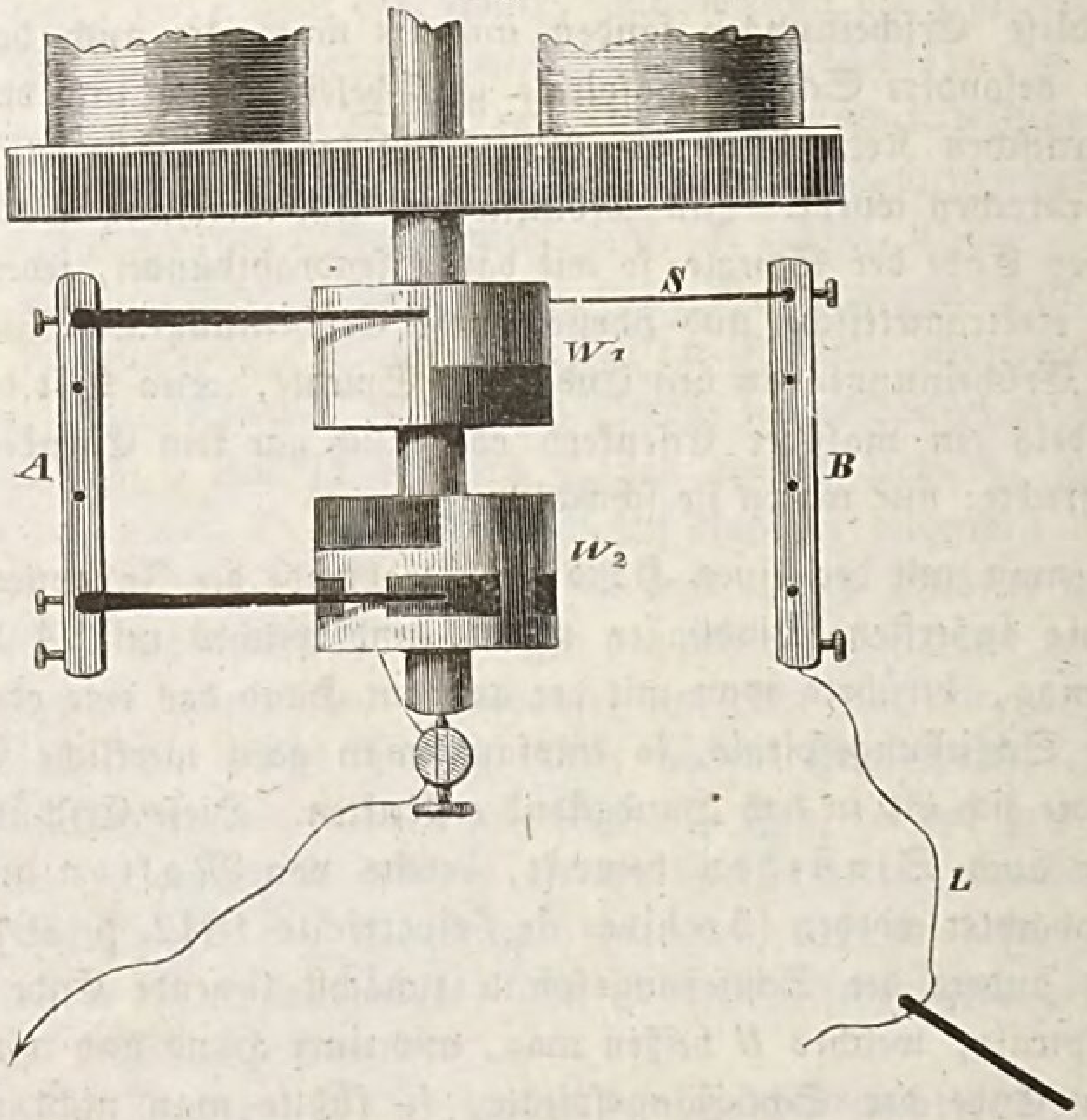
Auch an der magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine hat Sinſteden ähnliche Funken und elektroſkopiſche Effecte hervorgebracht. Der von ihm angewandte Apparat war ein Oertling'ſcher, an welchem für dieſen Zweck beſſer für Iſolation geſorgt war, als dies gewöhnlich bei ſolchen Apparaten der Fall iſt. Die ganze Maſchine ſtand auf 4 Scheiben von Gummi-Elaſticum, welche $1/2$ Zoll dick waren. Die Ständer, welche die auf den Polwalzen ſchleifenden Federn tragen, erhielten 3 Zoll hohe, mit Schellack überzogene Glasfüße. Auf die Magnetpole war ein Stück Wachstaffet geklebt, die den Magnetpolen zugekehrten Enden der Eiſendrahtbündel (welche bei dieſer Maſchine die Stelle der gewöhnlich in den rotirenden Spiralen befindlichen maſſiven Eiſenkerne erſetzten), welche

1½ Linien weit von den Magnetpolen entfernt rotirten, waren mit einer dicken Lage von Schellack überzogen.

Endlich wurde die Holzſcheibe, durch welche die Maſchine in Bewegung geſetzt wird, mit einem gläſernen gefirnißten Handgriffe verſehen.

Von den Verſuchen Sinſteden's mit dem ſo vorgerichteten Apparate wollen wir folgende als die wichtigſten hervorheben: In den iſolirten Ständer *A* (Fig. 253) wurden zwei einfache Federn eingeſpannt; die

Fig. 253.



eine ſchleifte auf der Walze *W'* beſtändig auf Metall, die zweite traf bei jeder Umdrehung des Inductors 4mal auf einen Horneinſatz der anderen Walze *W*². Jeder Horneinſatz nahm den ſechsten Theil des Umfangs der Walze ein, ſo daß alſo die Spirale bei einer Umdrehung 4mal auf ſehr kurze Zeit geſchloſſen und 4mal auf etwas längere Zeit geöffnet wurde.

An dem iſolirten Ständer *B* wurde ein dünner Stahldraht *S* mit ſcharfer Spitze ſo eingeſchraubt, daß die Spitze der Walze *W'* beinahe berührte. Die Walze *W*² wurde mit dem Boden leitend verbunden.

Bei der Rotation des Inductors fand nun folgendes Statt. Berührten die beiden Federn des Ständers *A* das Metall auf beiden Walzen, ſo entſtand in der Spirale ein Strom und es konnte keine freie Elektricität an den Stahldraht *S* übergehen, zumal jetzt beide Walzen und der Ständer *A*

mit der Erde in leitender Verbindung ſtanden. Traf die intermittirende Feder auf Horn, ſo hörte der Strom auf, und die Kraft, welche in dieſem Moment der Unterbrechung den Extraſtrom zu bilden ſtrebt, treibt nun mit großer Energie die entgegengeſetzten Elektricitäten auf beide Walzen; die Elektricität der Walze W^2 iſt zum Boden abgeleitet, die Walze W' aber mit dem Ständer A iſt iſolirt und die freie Elektricität geht von W' auf S und den Ständer B über. — Wurde jetzt ein an dem Ständer B befeſtigter Leitungsdraht L an den Knopf eines Goldblattelektrometers gebracht, ſo zeigte ſich freie Elektricität auch ohne Anwendung eines Condenſators; die Goldblätter blieben, ſo lange die Maſchine bewegt und der Leitungsdraht an den Elektrometerknopf gehalten wurde, in fortwährendem Hüpfen. — Wurde das Elektroſkop nur einen Augenblick mit dem Leitungsdraht L berührt, ſo blieben die Goldblätter 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll weit aus einander ſtehen und zeigten, mit einer geriebenen Siegellackſtange geprüft, wie von ſelbſt einleuchtet, bald poſitive, bald negative Elektricität.

Zwiſchen der Stahlſpitze S und der nahe gegenüber ſtehenden Walze W' ſchlugen unaufhörlich kleine Fünkchen über. Näherte man dem am Ständer B befeſtigten Leitungsdraht L den Rücken der Hand oder ſonſt eine empfindliche Hautſtelle, ſo ſchlugen Fünkchen über, die ein ſchmerzhaftes Stechen verurſachte, ähnlich demjenigen, welches man empfindet, wenn man den Knopf einer geladenen Leidner-Flaſche berührt.

Auch der Stahlmagnet zeigte jetzt ſtarke Spannungselektricität, indem er kräftig auf das Elektrometer wirkte und eine brennende Empfindung auf einer zarten Hautſtelle verurſachte. Ein ſpitziger Leiter, welcher mit keinem Theile der Maſchine in irgend einer Verbindung ſtand, entlockte dem Stahlmagneten Fünkchen, wenn er demſelben genähert wurde.

Brachte man den Leitungsdraht L an den Magnet, ſo erſchienen noch lebhaftere Fünkchen, woraus geſchloſſen werden kann, daß der Stahlmagnet ſtets die entgegengeſetzte Elektricität von W' und B habe.

Auch mit der oben beſchriebenen Stöhrer'ſchen Maſchine kann man einige Spannungserſcheinungen nachweiſen. Befeſtigt man in den Schraubklemmen a und b zwei kurze Drähte, die man mit zugeſpitzten Enden faſt in Berührung bringt, ſo ſieht man, wenn der Pachytrop auf Intenſität geſtellt iſt, beim Drehen der Maſchine Fünkchen durch den kleinen Zwiſchenraum überſchlagen Wird eine der Drahtklemmen, a oder b, zum Boden abgeleitet, von der anderen ein Leitungsdraht zu der unteren Condenſatorplatte eines Goldblattelektroſkops geführt, ſo wird der Condenſator geladen, wenn man während der Umdrehung der Maſchine die obere Condenſatorplatte ableitend berührt. Entfernt man noch während der Drehung den Zuleitungsdraht, ſo divergiren die Pendel, wenn die obere

Condenſatorplatte abgehoben wird. Der Ständer *a* zeigte ſtets poſitive, *b* ſtets negative Elektricität.

Daß man hier keine kräftigeren Spannungserſcheinungen, namentlich keine Wirkung am Elektrometer ohne Condenſator erhält, liegt an der mangelhaften Iſolation, da die Maſchine für dieſe Unterſuchungen nicht hinlänglich iſolirt iſt. Wären *a* und *b* vollſtändiger iſolirt, ſo würde man ohne Zweifel aus jeder dieſer Drahtklemmen oder aus Drähten, welche in dieſelben eingeſchraubt ſind, Fünkchen ziehen können, wenn die andere gehörig abgeleitet iſt; ließe man die Fünkchen auf den Knopf oder die Platte eines Goldblattelektroſkops übergehen, ſo müßte dieſes auch ohne Anwendung eines Condenſators divergiren. Bei gehöriger Iſolirung würde ohne Zweifel eine große Stöhrer'ſche Rotationsmaſchine, wenn ſie auf Intenſität geſtellt iſt, ſehr bedeutende Spannungswirkungen geben.

So hat denn Sinſteden durch ſeine intereſſante Unterſuchung weſentlich zur Ergänzung unſerer Kenntniſſe von den Inductionsſtrömen beigetragen und von einer neuen Seite gezeigt, wie ſie ein Mittelglied bilden zwiſchen Reibungselektricität und galvaniſcher Elektricität.

Schon vor der Publication der eben beſprochenen Verſuche Sinſteden's hat auch Dubois-Reymond die elektriſche Spannung an den freien Enden ungeſchloſſener Inductionsſpiralen durch die Zuckungen von Froſchſchenkeln nachgewieſen, die er mit dem Namen der unipolaren Inductionszuckungen bezeichnet und auf die wir weiter unten zurückkommen werden. Durch den Druck wurden dieſe Verſuche von Dubois erſt weit ſpäter bekannt gemacht, aber ſchon am 4ten April 1845 ſprach er davon in einem Vortrage, den er in der phyſikaliſchen Geſellſchaft zu Berlin hielt. So iſt denn kein Zweifel, daß beide Gelehrte ihre Entdeckungen ganz unabhängig von einander machten, was auch ſchon aus dem Umſtande hervorgeht, daß Beide auf ganz verſchiedenem Wege zu dem Ziel gelangten, die elektriſche Spannung an den freien Enden einer eingeſchloſſenen Inductionsſpirale darzuthun. Das Verdienſt des Einen wird durch die Entdeckung des Andern nicht im mindeſten beeinträchtigt.

261 **Henry's Unterſuchungen über Induction.** Die Unterſuchungen Henry's über »elektrodynamiſche Induction« finden ſich im 6ten Bande der Transactions of the American Philosophical Society, aus welchen ſie mit Abkürzungen in Poggendorff's Annalen (Ergänzungsband von 1842, Seite 282) übergegangen ſind. Die wichtigſten Reſultate, welche durch dieſe Unterſuchungen ermittelt wurden, ſind folgende.

Die verſchiedenen Wirkungen des Extraſtromes hängen nicht in gleicher

Weiſe von der Länge der Spirale ab. Mit einem einfachen Element gab eine Bandſpirale von 60 Fuß Länge (die Breite des Kupferblechs, aus welchem dieſe und die folgenden Spiralen gebildet waren, betrug 1½ Zoll) ſchwache Oeffnungsfunken und keinen Schlag; eine ſolche Bandſpirale von 93 Fuß Länge gab ſtarke Funken und ſchwache Schläge; 5 Bandſpiralen, zuſammen 300 Fuß lang, gaben ſchwächere Funken, aber ſtärkere Schläge.

Es giebt jedoch in der Verſtärkung der Schläge ebenfalls eine Gränze. Eine Rolle Kupferdraht, von $^1/_{16}$ Zoll Durchmeſſer, wurde ſucceſſiv durch Zuſätze von 32 Fuß langen Stücken verlängert. Nach den beiden erſten Zuſätzen, alſo nach einer Verlängerung von 64 Fuß, fing der Glanz der Funken an abzunehmen, allein die Schläge nahmen an Stärke zu bis zu einer Drahtlänge von 575 Fuß, wo auch ſie begannen ſchwächer zu werden.

Wendet man ſtatt des einfachen Volta'ſchen Elementes eine Säule an, ſo werden die inductiven Effecte bei kurzen Spiralen geringer als ſie bei dem einfachen Elemente waren, bei ſehr langen Spiralen aber bringt eine Säule eine ſtärkere Inductionswirkung hervor, als ein einfaches Element.

Die eben beſprochenen Beziehungen zwiſchen der Drahtlänge und der Stärke der verſchiedenen Effecte des Extraſtromes hat Henry nur im Allgemeinen, der Art nach ermittelt; eine genauere quantitative Unterſuchung dieſes intereſſanten Gegenſtandes wäre ſehr zu wünſchen.

Bei Strömen, die durch den primären Strom in einer benachbarten Spirale inducirt wurden, ergaben ſich ähnliche Reſultate. Wird entweder die ſtromleitende Spirale oder die Inductionsſpirale über eine gewiſſe Gränze verlängert, ſo nehmen die galvaniſchen Effecte des Inductionsſtromes ab, während die Schläge verſtärkt werden; aber auch hier giebt es eine weitere Gränze, über welche hinaus auch die Stärke der Schläge wieder abnimmt.

Bei vergrößertem Durchmeſſer des Drahtes wird auch die Gränze der Längendimenſionen, bei welchen das Maximum der verſchiedenen Effecte des Inductionsſtroms ſtattfindet, weiter hinausgerückt, denn die Abnahme des Effectes bei zunehmender Länge iſt nur eine Folge des vergrößerten Leitungswiderſtandes; wird dieſe dadurch vermindert, daß man dickeren Draht anwendet, ſo fällt die ſchwächende Wirkung der Verlängerung weg.

Mit flachen Spiralen brachte Henry ſehr merkliche Inductionserſcheinungen hervor, wenn auch der Zwiſchenraum zwiſchen der ſtromleitenden und der Inductionsrolle ziemlich bedeutend war.

Ferner zeigte Henry, wie die inducirende Wirkung einer Spirale auf eine andere durch die Nähe eines guten geſchloſſenen Leiters geſchwächt

wird. Befanden ſich z. B. drei Bandſpiralen über einander, von denen die unterſte den primären Strom leitete, die oberſte aber mit Handgriffen verſehen war, ſo erhielt man beim Oeffnen der Kette ſtarke Inductionsſchläge aus der oberſten Spirale, wenn die mittlere nicht geſchloſſen war, die Schläge verſchwanden aber, als die mittlere Spirale gut metalliſch geſchloſſen wurde.

Offenbar wirkt hier die inducirende Wirkung der primären Spirale zunächſt auf denjenigen geſchloſſenen Leiter am ſtärkſten inducirend, in welcher der Bildung von Inductionsſtrömen der geringſte Widerſtand entgegenſteht.

Schiebt man ſtatt der mittleren Spirale eine gutleitende Metallplatte ein, ſo übt dieſe eine ähnliche ſchwächende Wirkung aus; eben ſo wenn ſie ſich nicht zwiſchen den beiden Spiralen, ſondern über oder unter denſelben befindet.

Einen ſolchen ſtörenden Einfluß üben auch Hülſen von Meſſing aus, wenn auf ſie Drahtſpiralen aufgewunden ſind, welche zu Inductionsverſuchen dienen ſollen; deshalb dürfen auch die Hülſen magnetoelektriſcher Maſchinen nicht von Meſſing ſeyn. — Der ſtörende Einfluß der Metallhülſen kann bekanntlich dadurch aufgehoben werden, daß man ſie aufſchlitzt, weil dadurch die Bildung von Inductionsſtrömen in den Hülſen ſelbſt verhindert wird.

Der wichtigſte Theil der Unterſuchung Henry's iſt die Nachweiſung von Inductionsſtrömen höherer Ordnung.

Der primäre Strom ging durch die 90 Fuß lange Bandſpirale *a* (Fig. 254); über dieſer befand ſich die 60 füßige Bandſpirale *b*; die

Fig. 254.

Enden von *b* waren mit denen einer dritten Bandſpirale *c* verbunden, welche gleichfalls aus einem 60 Fuß langen, aber nur $^3/_4$ Zoll breiten Kupferſtreifen gemacht war; da die Spirale *c* den Schließungsbogen von *b* bildet, ſo muß in *c* der Strom circuliren, welcher in *b* durch den Einfluß der Stromunterbrechung in *a* inducirt wird. Der Strom in *c* konnte nun außer dem Einfluß von *a* inducirend auf die Drahtrolle *d* (aus 1660 Ellen eines $^1/_{49}$ Zoll dicken Drahtes gebildet) wirken. In der That bekam man bei Anfaſſung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Reſultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

Nennt man den Strom in *a* den primären, ſo iſt der in *b* und *c* der ſecundäre, der in *d* endlich der tertiäre, oder es iſt der Strom in *d* ein Strom dritter Ordnung, der in *b* und *c* ein Strom zweiter Ordnung, wenn der in *a* als Strom erſter Ordnung bezeichnet wird.

Henry hat in gleicher Weiſe auch die Exiſtenz von Inductionsſtrömen vierter und fünfter Ordnung nachgewieſen.

Was die Richtung der inducirten Ströme höherer Ordnung betrifft, welche beim Oeffnen des Hauptſtromes entſtehen, ſo beſteht, nach Henry folgende Abwechſelung:

Primärer Strom	+
Strom zweiter Ordnung . . .	+
Strom dritter Ordnung . . .	—
Strom vierter Ordnung . . .	+
Strom fünfter Ordnung . . .	—

Um die Richtung der inducirten Ströme zu beſtimmen, verfuhr Henry folgendermaßen: die letzte Inductionsſpirale, in Fig. 254 alſo *d*, wurde durch eine kleine Magnetiſirungsſpirale geſchloſſen und in dieſe eine Nähnadel eingeſchoben. Dieſe Nadel wurde nun durch den Inductionsſtrom, welcher beim Oeffnen des Hauptſtroms entſtand, magnetiſirt, und aus ihrer Polarität auf die Richtung des ſie magnetiſirenden Inductionsſtroms geſchloſſen.

Da jedoch dieſe Inductionsſtröme, namentlich die höhere Ordnung, nur momentan ſind, ſo iſt die Beſtimmung der Stromrichtung aus dem Magnetiſiren von Stahlnadeln ſehr trüglich, wie wir dies bereits bei der Betrachtung der Unterſuchungen von Rieß geſehen haben, was auch Poggendorff in einer Note zu dem Aufſatze Henry's bemerkt.

Endlich hat Henry auch noch die Inductionen elektriſcher Ströme durch Reibungselektricität nachgewieſen, und zwar der Zeit nach noch früher als Rieß, der jedoch, als er ſeine Unterſuchungen über Induction durch Reibungselektricität machte, noch keine Kenntniß von Henry's Arbeiten haben konnte, ſo daß alſo dieſelbe Entdeckung ſelbſtſtändig von beiden Phyſikern dieſſeits und jenſeits des Oceans gemacht wurde. Da jedoch dieſer Gegenſtand bereits oben, bei Gelegenheit des Berichtes über die Rieß'ſchen Unterſuchungen, ausführlich beſprochen wurde, ſo kann wohl hier eine nähere Erörterung der entſprechenden Unterſuchungen Henry's unterbleiben.

262 **Induction durch den Erdmagnetismus.** In dem 15ten Bande der Annales de chimie et de physique, Seite 34 befindet ſich ein Abriß der Geſchichte der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme von Melloni.

Ich laſſe hier das Weſentlichſte von dem Inhalt dieſes Aufſatzes folgen, welcher den jetzigen Standpunkt unſerer Kenntniſſe in dieſem Gebiete darlegt.

Als Faraday im Jahre 1830 die Induction elektriſcher Ströme in geſchloſſenen Leitern durch raſche Annäherung und Entfernung von Magneten entdeckt hatte, ſchloß er ganz richtig, daß auch der Erdmagnetismus in einem bewegten Metallbogen elektriſche Ströme induciren müſſe.

Der Verſuch beſtätigte ſeine Erwartung. Ein Eiſenſtab von 1 Fuß Länge und $^7/_8$ Zoll Durchmeſſer war mit einer Spirale von Kupferdraht umgeben, deren beide Enden mit den Drahtenden eines Multiplicators leitend verbunden waren. Der Stab wurde in der Richtung der Inclinationsnadel gehalten und dann raſch im magnetiſchen Meridian umgedreht, ſo daß er mit verwechſelten Enden nun dieſelbe Stellung einnahm wie vorher. Dabei machte die Nadel des Multiplicators einen Ausſchlag von einigen Graden, um nach einigen Schwingungen wieder auf Null zurückzukehren; dreht man nun den Stab abermals um, ſo entſteht ein Ausſchlag nach der entgegengeſetzten Seite. Wiederholt man dieſe Umdrehungen des Stabes mehrmals nach einander und zwar ſtets wenn die Nadel im Rückgang begriffen, die Gleichgewichtslage paſſirt, ſo ſummirt ſich die neue Wirkung mit der vorhergehenden und die Nadel wird in Schwingungen verſetzt, welche einen Bogen von 150 bis 160 Graden umfaſſen.

In dieſer Form des Verſuchs iſt jedoch die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus noch nicht direct nachgewieſen, denn der größte Theil des Stromes, welcher die Nadel ablenkt, wird von dem Erdmagnetismus nur indirect mittelſt der Umkehrung der Polarität im Eiſenſtab hervorgebracht. Faraday entfernte deshalb den Eiſenſtab aus der Spirale und wiederholte dann die Verſuche in der angegebenen Weiſe. Auch jetzt wurde die Nadel abgelenkt, obgleich viel ſchwächer als vorher; durch 10 bis 12malige Umdrehung der Spirale in den gehörigen Intervallen gelang es aber auch, einen Schwingungsbogen von 80 bis 90 Grad zu erreichen.

Dieſe Verſuche ſind in den beiden Abhandlungen beſchrieben, welche Faraday über dieſen Gegenſtand im Jahre 1831 in den Philosophical Transactions publicirte (P. A. XXV. 91 und 142).

Kaum hatten die italieniſchen Naturforſcher Nobili und Antinori Nachricht von Faraday's Entdeckung der Induction elektriſcher

Ströme durch Stahlmagnete erhalten, als auch ſie dieſe Verſuche anſtellten, um die Induction durch den Erdmagnetismus nachzuweiſen, und zwar noch ehe ſie die entſprechenden Abhandlungen Faraday's geleſen hatten; ſo haben ſie dieſe Erſcheinung gewiſſermaßen zum zweiten Male entdeckt.

Nachdem nun die inducirende Kraft unſeres Planeten durch die Ablenkung der Magnetnadel dargethan war, kam es nur noch darauf an, Mittel zu finden, die durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme ſtark genug zu machen, um auch die übrigen Wirkungen elektriſcher Ströme, chemiſche Wirkungen, Schläge, Funken u. ſ. w. hervorzubringen.

Faraday verfolgte aber dieſen Gegenſtand nicht, weil er mit anderen Unterſuchungen beſchäftigt war, und Nobili, welcher eine hierher gehörige Verſuchsreihe begonnen hatte, mußte Italien verlaſſen. Kurz vor ſeinem Tode publicirte er jedoch mit Antinori noch eine zweite Abhandlung über die Induction durch den Erdmagnetismus, in welcher nachgewieſen wurde, daß, wenn man die Verſuche ohne Eiſenkerne anſtellt, die Stärke der inducirten Ströme mit dem Durchmeſſer der Drahtwindungen zunimmt (Antologia di Firenze, Nro. 138).

Die bis dahin in verwandten Zweigen gemachten Erſcheinungen benutzend, nahmen Linari und Palmieri gegen Ende des Jahres 1840 das Studium der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme wieder auf, und nach einigen Jahren machten ſie der Akademie zu Paris die Anzeige, daß es Ihnen gelungen ſey, mit Hülfe eines Apparates, den ſie eine magneto-elektrotelluriſche Batterie nannten, Schläge und Waſſerzerſetzung zu erhalten (Comptes rendus 1843. 1er sem. p. 1442). Statt des eiſernen Stabes wandten ſie eine Reihe hohler eiſerner Röhren an; die elektriſchen Ströme, welche die Drahtwindungen durchliefen, wurden durch einen ähnlichen Mechanismus geſammelt, wie an der Clarke'ſchen Rotationsmaſchine und konnten alsdann durch geſäuertes Waſſer oder durch die Hände des Experimentators geleitet werden.

Eine zur Prüfung des Gegenſtandes von der Akademie niedergeſetzte Commiſſion, zu welcher auch Melloni gehörte, fand dieſe Wirkungen vollkommen beſtätigt. Ein Beweis, daß die beobachteten Ströme wirklich vom Erdmagnetismus inducirt waren, ergab ſich daraus, daß alle Wirkungen aufhörten, wenn die Rotationsaxe der Maſchine in den magnetiſchen Meridian geſtellt wurde (vollſtändig kann erſt die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus verſchwinden, wenn die Umdrehungsaxe in der Richtung der Inclinationsnadel liegt). Obgleich die Wirkungen ſchwach waren, ſo gaben ſie doch Hoffnung, daß man mittelſt dieſer Ströme auch noch Funken hervorbringen werde. — Linari und Palmieri erhielten

vom Gouvernement eine Unterſtützung zur Fortſetzung ihrer Verſuche, und in der That gelang es ihnen nach einigen Monaten, Funken an ihrem terreſtriſchen Inductionsapparat zu zeigen.

Die Commiſſion erſtattete auch darüber der Akademie-Bericht in der Sitzung vom 23. April 1844, und ſprach dabei den Wunſch aus, die genannten Phyſiker möchten danach ſtreben, dieſe Stromwirkungen auch ohne Vermittelung von weichem Eiſen nur durch die directe Inductionswirkung des Erdmagnetismus hervorzubringen. Leider konnte Linari dieſe Arbeiten nicht weiter fortſetzen, weil er von einer Augenkrankheit befallen wurde; Palmieri aber brachte in der That dieſe Wirkungen nur mit Hülfe einer rotirenden Kupferdrahtſpirale hervor.

Palmieri beſchreibt ſeinen Apparat in den Archives de l'Electricité T. V, p. 189 (P. A. LXVII, 244.); die Spirale, mit welcher er Funken, Schläge und Waſſerzerſetzung durch erdmagnetiſche Induction ohne Vermittelung von Eiſen hervorbrachte, hatte 200 Windungen eines 1,5 Millimeter dicken Kupferdrahtes, welche auf einen elliptiſchen Rahmen gewickelt waren, deſſen große Axe 2,2^{m}, deſſen kleine aber 0,6^{m} betrug *). Die große Axe dieſer Ellipſe dient, auf dem magnetiſchen Meridian ſenkrecht ſtehend, als Umdrehungsaxe.

Palmieri wählte die Form der Ellipſe, weil, wie er angiebt, die Wirkung einer ſolchen Spirale größer iſt als die einer kreisförmigen von gleichem Umfang.

Eine nähere Beſchreibung des Apparates kann ich leider nicht mittheilen, weil mir die Originalabhandlung nicht zugänglich iſt, ohne Zweifel aber wird man die beſprochenen Erſcheinungen der telluriſchen Induction ſehr gut mit einer ſolchen Spirale hervorbringen können, wenn man dieſe Spirale in gehöriger Verbindung mit einem ſolchen Commutator ſetzt, wie ihn Stöhrer an ſeine magnetoelektriſchen Maſchinen anbringt. Bei ſolcher Einrichtung würde der Apparat auch zu meſſenden Verſuchen geeignet ſeyn.

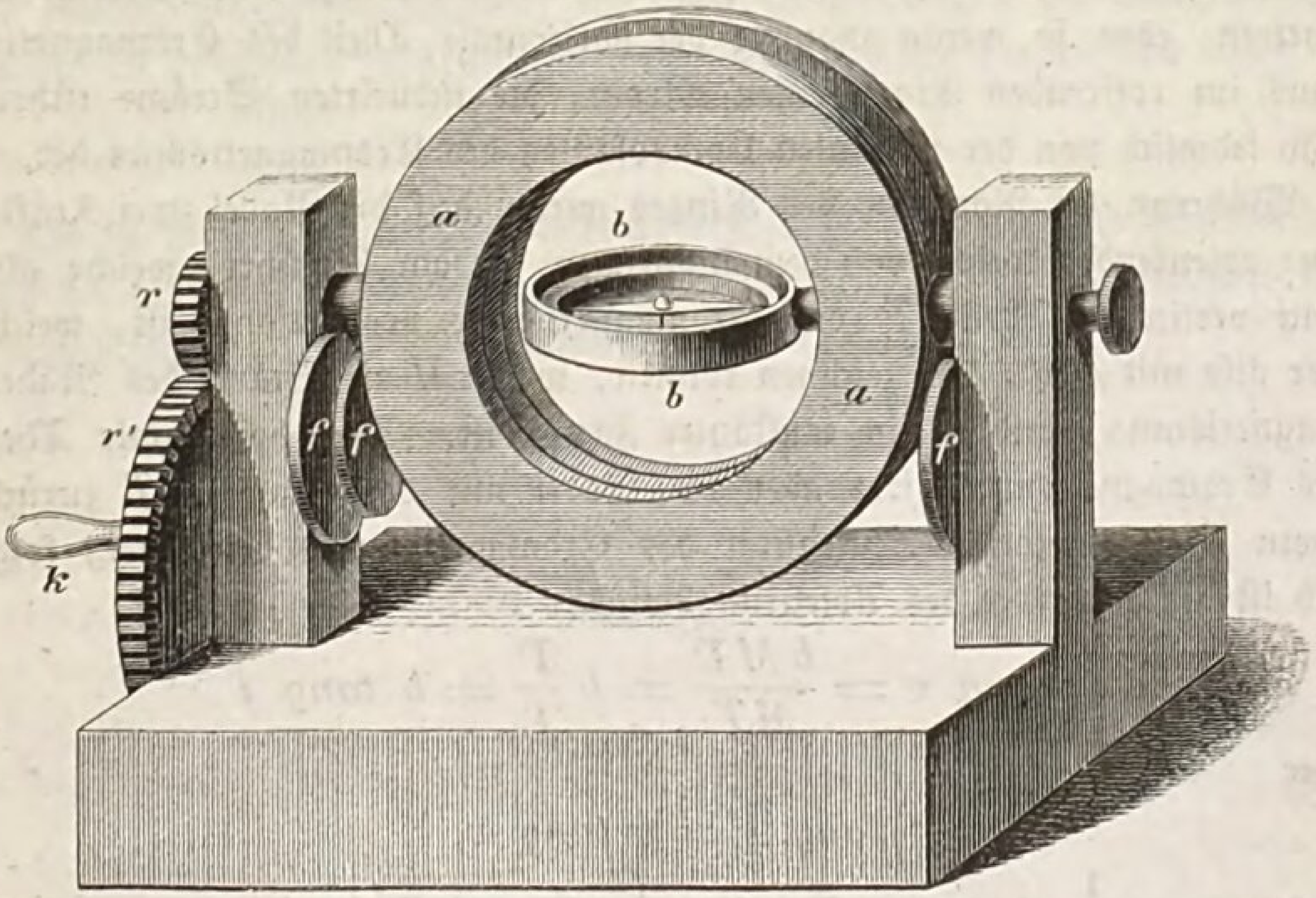
263 **Weber's Inductionsinclinatorium.** Denken wir uns, daß der Ring eines der Tangentenbuſſole ähnlichen Apparates um ſeine horizontale mit dem magnetiſchen Meridian zuſammenfallenden Axe raſch umgedreht werden könnte, ohne daß die Magnetnadel, welche ſich in der Mitte dieſes Ringes befindet, ihren feſten Stand verlöre, ſo müßte die Nadel durch die Ströme, welche der Erdmagnetismus im rotirenden Ringe inducirt, abgelenkt werden.

---

*) An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen ſind 1,2 und 0,9 Meter als die Dimenſionen der Ellipſe angegeben. Die oben angegebenen Zahlen ſind dem Berliner Jahresberichte für 1845 entnommen.

Die eben bezeichnete Aufgabe hat nun Weber mit dem, Fig. 255, abgebildeten Inductionsinclinatorium gelöſt. aa iſt ein Ring, welcher 100

Fig. 255.



Millimeter inneren, und 161^{mm} äußeren Durchmeſſer hat; er beſteht aus 16 ringförmig ausgeſchnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der andern Seite ſich befinden, während in der Mitte ein Zwiſchenraum von 12^{mm} bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einſchluß des Zwiſchenraums betrug 34^{mm}. Die Axe, um welche dieſer Ring gedreht wird, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Die Axe auf der rechten Seite iſt hohl, und durch dieſe Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Buſſole b trägt. Die Rotation des Ringes um ſeine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder r und r' durch die Kurbel k bewirkt. 7 Umdrehungen der Kurbel entſprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

Das Inſtrument wird ſo aufgeſtellt, daß die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetiſchen Meridian fällt.

Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel ½- oder 1mal herumgedreht, was für den erſten Fall 166,7, für den zweiten 333,4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenſchläger nicht genau Secunden ſchlug, ſondern 60 Schläge = 61,7 Secunden waren.

Bei 166,7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Magnetnadel um 5,63°, bei 333,4 Umdrehungen um 10,76° abgelenkt,

die Ablenkung, mithin alſo auch die Stärke des inducirten Stromes, iſt alſo nahe zu der Umdrehungsgeſchwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zuſammenfällt, ſo kann ſie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; eben ſo wenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren alſo lediglich von der verticalen Compoſanten des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strom herrührt, welche alſo dem verticalen Theile T' des Erdmagnetismus proportional iſt, welche wir alſo mit $b M . T'$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus, und b ein conſtanter Factor iſt. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft $M T$ zurück, wenn T die horizontale Intenſität des Erdmagnetismus bezeichnet, folglich iſt die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang.\, v = \frac{b M T'}{M T} = b \frac{T'}{T} = b . tang.\, i$$

oder

$$tang.\, i = a\; tang.\, v,$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ iſt der Tangente der magnetiſchen Inclination i gleich. Man könnte alſo aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unſeres Inſtrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Dieſen Factor kann man aber umgekehrt für eine beſtimmte Umdrehungsgeſchwindigkeit beſtimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt iſt. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel 5,465⁰, alſo $tang.\, v = 0{,}0962$; für Göttingen, wo die Verſuche mit dem Inſtrument angeſtellt wurden, iſt die Inclination 67⁰ 50′, alſo $tang\; i = 2{,}4545$, alſo iſt

$$a = \frac{2{,}4545}{0{,}0962} = 25{,}514 .$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeſchwindigkeit haben wir alſo

$$tang\;\; i = 25{,}514\; tang.\, v.$$

Man kann alſo nun, wenn an irgend einem anderen Orte Verſuche mit dieſem Inſtrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablenkungswinkel v die Inclination des Ortes beſtimmen. Geſetzt, man habe mit demſelben Inſtrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeſchwindigeit $v = 3{,}5^0$ gefunden, ſo ergäbe ſich für die Inclination dieſes Ortes

$$tang.\, i = 25{,}514 \,.\, 0{,}06116 = 0{,}15605$$
$$i = 8^0\ 52'.$$

Der Factor von *tang. v* ändert übrigens im umgekehrten Verhältniß die Umdrehungsgeſchwindigkeit; für 500 Umdrehungen des Ringes (natürlich an demſelben Inſtrument) waren demnach der Factor von *tang. v* $= 25{,}514 \cdot \frac{166{,}7}{500}$.

So iſt man alſo vermöge dieſer äußerſt ſinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu beſtimmen. (P. A. XLIII, 493.)

Neunter Abſchnitt.

Diamagnetismus.

264 **Drehung der Polariſationsebene durch Elektromagnete und magnetiſirende Spirale.** Faraday's wichtige Entdeckung, daß die Polariſationsebene von Strahlen, welche gewiſſe durchſichtige Körper durchlaufen unter dem Einfluß von Elektromagneten oder Magnetiſirungsſpiralen gedreht werde, iſt bereits in meinem Lehrbuch der Phyſik (3. Auflage, 2. Bd., S. 266) in ihren Grundzügen auseinander geſetzt worden. Eine Wiederholung deſſen, was ich dort über dieſen Gegenſtand geſagt habe, dürfte wohl unnöthig ſeyn, und ſo kann ich mich darauf beſchränken, hier nur noch einige Notizen zur Ergänzung des dort Mitgetheilten zu geben.

Faraday beſpricht den Einfluß des Magnetismus und des galvaniſchen Stromes auf die Lage der Polariſationsebne in ſeiner 19ten Reihe von Experimentaluntersuchungen über Elektricität (Phil. Trans. f. 1846 p. 1. — P. A. LXVIII, 105). Den Unterſchied zwiſchen der Drehung der Polariſationsebne in circular polariſirenden Körpern und der Drehung, wie ſie durch den galvaniſchen Strom hervorgebracht wird, beſpricht Faraday in einem Aufſatz, welcher in dem Philosophical Magazine (T. XXIX, 153, 249) unter dem Titel: über die magnetiſche Affection des Lichtes u. ſ. w. erſchien (P. A. LXX, 283).

Die magnetiſche Drehung der Polariſationsebene beobachtete Faraday an allen amorphen durchſichtigen Körpern, die er unterſuchte, alſo bei allen Gläſern; ebenſo bei denjenigen kryſtalliſirten Körpern, welche dem regulären Syſtem angehören, wie Steinſalz, Alaun, Flußſpath; dagegen blieb, nach Faraday's Beobachtung, dieſe Drehung aus bei allen doppelt brechenden Kryſtallen.

Der Elektromagnet bewirkt die Drehung der Polariſationsebene in allen

Flüſſigkeiten, mögen ſie nun an und für ſich ſchon ein Drehungsvermögen haben oder nicht.

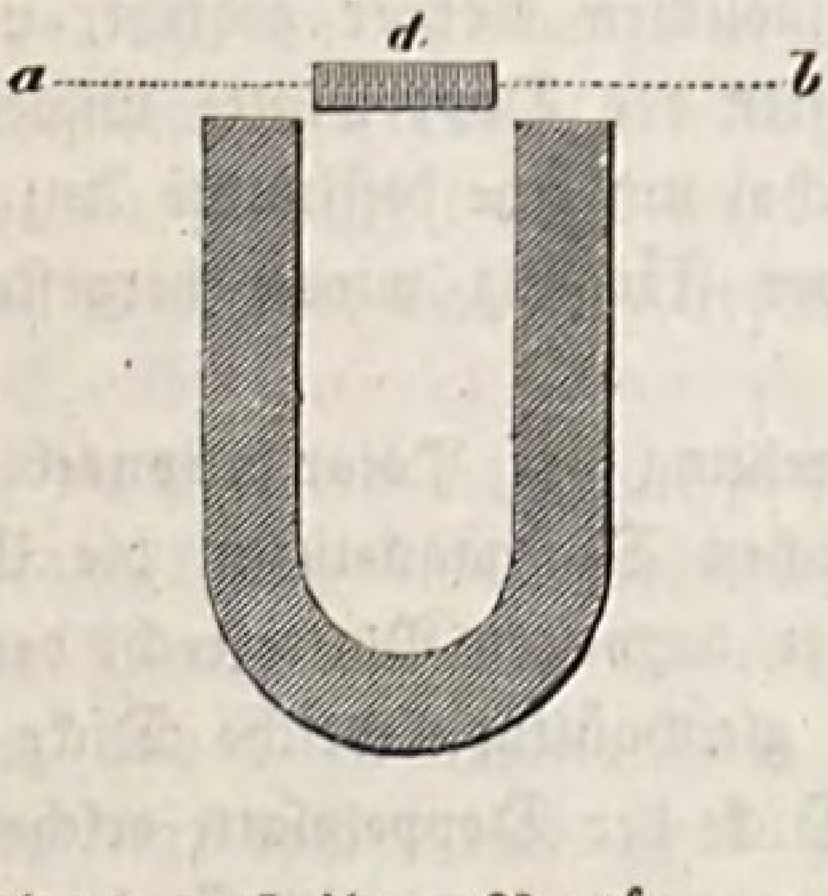
Bei keinem der Gaſe, welche Faraday unterſuchte (atmoſphäriſche Luft, Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff, Stickſtoffoxydul, ölbildendes Gas, ſchweflige Säure, Chlorwaſſerſtoff, Kohlenſäure u. ſ. w.), fand er eine Drehung der Polariſationsebene durch Elektromagnetismus.

Bei den an und für ſich drehenden Flüſſigkeiten ſcheint das natürliche Drehungsvermögen keinen Einfluß auf die Größe der elektromagnetiſchen Drehung zu haben; die beiden Drehungen afficiren einander nicht, ſie ſind zu einander zu addiren oder von einander zu ſubtrahiren, je nachdem ſie in gleichem oder in entgegengeſetztem Sinne wirken.

Bei Anwendung von Elektromagneten erreicht das erſcheinende Licht erſt einige Zeit nach Schließung der Kette ſeine volle Stärke wohl aus keinem andern Grunde, als weil zur vollen Entwickelung des Magnetismus im Eiſenkern einige Zeit nöthig iſt.

Wiederholung und Vervollkommnung des Verſuchs über die 265
elektromagnetiſche Drehung der Polariſationsebene. Als die neue Entdeckung Faraday's nur erſt aus kurzen Notizen bekannt geworden war, wurden auf dem Continente Verſuche gemacht, um die Erſcheinung gleichfalls hervorzubringen. In Deutſchland war es Böttger, in Frankreich war es Pouillet, denen es zuerſt gelang, und zwar ſtellte Böttger den Verſuch mit einer Spirale an, wie bereits in der dritten Auflage meines Lehrbuches der Phyſik erwähnt ward, während Pouillet ſich ſtarker Elektromagnete bediente. Letzterer fand, daß das Diamagneticum in der Mitte zwiſchen den beiden Polen, wie *d* in Fig. 256 die größte Drehung zeige, daß ſie abnehme, wenn man es in der Verbindungslinie der beiden Pole dem einen, alſo z. B. nach *a* zuſchiebe, daß ſie Null wird, wenn die Mitte des Diamagneticums gerade dem Mittelpunkte des einen Poles gegenüberſteht, und daß die Drehung in die entgegengeſetzte übergeht, wenn man das Diamagneticum noch über den Pol hinausſchiebt, ſo daß es ſich nicht auf der Verbindungslinie der beiden Pole ſelbſt, ſondern auf ihrer Verlängerung befindet, wobei jedoch ſtets angenommen iſt, daß der Lichtſtrahl in der Linie *ab* fortgeht. Es iſt dies übereinſtimmend mit dem ſchon von Faraday aufgefundenen Grundgeſetz der elektromagnetiſchen Drehung der Polariſationsebene, daß dieſelbe ſtets in der

Fig. 256.



Richtung ſtattfindet, in welcher die Ampèriſchen (poſitiven) Ströme einen Eiſenſtab umkreiſen würden, wenn er an die Stelle des Diamagneticums gebracht würde.

Da die Drehung der Polariſationsebene unter den erwähnten Umſtänden, ſelbſt bei den geeigneteren Subſtanzen, nur eine geringe iſt, ſo mußte man ſeine Sorgfalt vorzugsweiſe darauf richten, die Effecte einer kleinen Drehung möglichſt ſichtbar zu machen, was nur durch Vervollkommnung des optiſchen Theils des Apparates möglich iſt. Pouillet wandte bei ſeinen Verſuchen eine, von Soleil conſtruirte Vorrichtung an (Compt. rend. XXII, 135.), durch welche auch die kleinſte Drehung der Polariſationsebene bemerklich gemacht und gemeſſen werden kann. Für uns beſteht der weſentlichſte Theil dieſes Apparates in einer Doppelplatte (double plaque) von Quarz, welche aus zwei ſenkrecht zur Axe geſchliffenen, neben einander gekitteten, und erſt nach dieſer Kittung vollſtändig abgeſchliffenen und polirten Quarzplatten beſteht, von denen die eine rechts, die andere links drehend iſt. Da die beiden Hälften der Platte vollkommen gleich dick ſind, ſo wird ſie zwiſchen den gekreuzten Nichols auch vollkommen gleichförmig gefärbt erſcheinen, ſobald aber das Ocularnichol nur etwas aus dieſer Lage herausgedreht wird, ſo erſcheinen ſogleich die beiden Hälften der doppelten Platte ungleich gefärbt.

Dieſe doppelte Platte iſt nun dicht hinter dem Nichol angebracht, durch welches der Lichtſtrahl in den Apparat eintritt; dann folgt der auf die elektromagnetiſche Drehung der Polariſationsebene zu unterſuchende Körper, und endlich das Ocularnichol, welches ſo geſtellt wird, daß die beiden Hälften der doppelten Platte gleich gefärbt erſcheinen, wenn der Elektromagnet nicht durch den galvaniſchen Strom erregt iſt. Sobald nun der Strom den Elektromagneten zu umkreiſen beginnt, wird die Polariſationsebene in dem zwiſchen den Magnetpolen befindlichen Körper gedreht, und in Folge deſſen werden nun die beiden Hälften der Doppelplatte ungleich gefärbt erſcheinen; man muß das Ocularnichol um eine beſtimmte Anzahl von Graden drehen, wenn die Gleichheit der Färbung wieder hergeſtellt werden ſoll.

Wenn ſchon durch eine ganz geringe Drehung der Polariſationsebene in dem zwiſchen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die Ungleichheit der Färbung der beiden Hälften der doppelten Platte recht deutlich hervortreten ſoll, ſo iſt es keineswegs gleichgültig, welche Dicke ſie hat; die geeignetſte iſt 3,75^{mm}; bei dieſer Dicke der Doppelplatte erſcheint dieſelbe zwiſchen parallel geſtellten Nichols purpurviolet, ein Farbenton, welcher vorzugsweiſe durch die äußerſten Strahlen des Spectrums gebildet wird, während das Gelb in demſelben ganz ausgelöſcht wird. Dieſer Farbenton, welcher die Uebergangsfarbe (teinte de passage) genannt wird,

hat die Eigenthümlichkeit, ſehr raſch in Blau oder Roth überzugehen, ſo daß ſchon bei der geringſten Drehung des Ocularnichols oder bei der geringſten Drehung der Polariſationsebene in dem zwiſchen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die eine Hälfte der Doppelplatte eine blaue, die andere eine rothe Färbung annimmt.

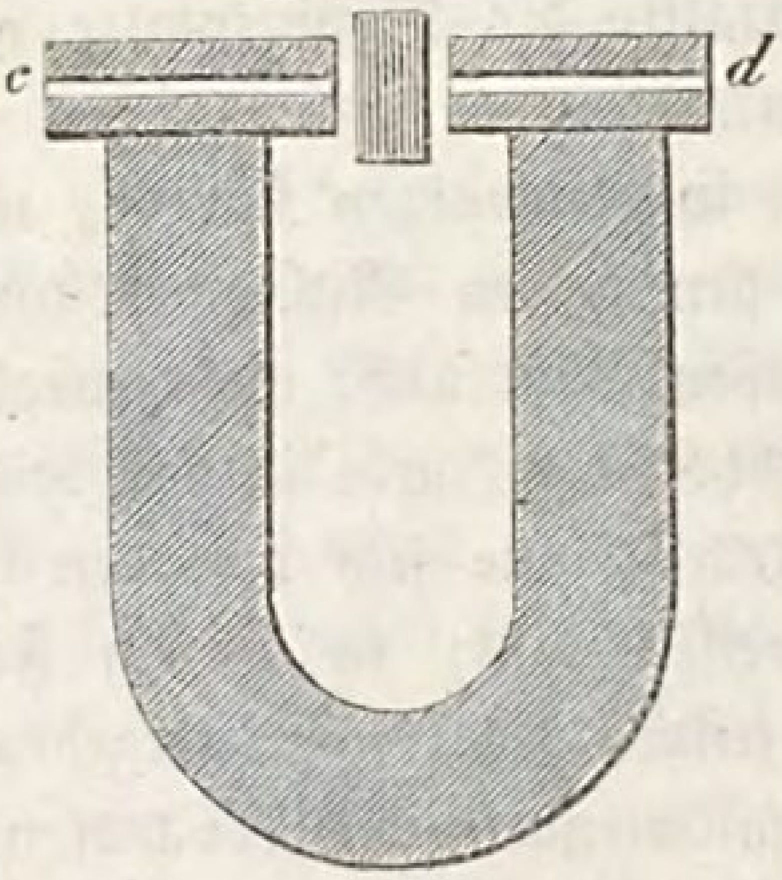
Wenn die Drehung der Polariſationsebene in demjenigen Körper, welcher ſich mit der doppelten Platte zwiſchen den beiden Nichols befindet, ſehr groß iſt, ſo iſt es bei einfallendem weißen Licht nicht mehr möglich durch Drehung des Ocularnichols die Gleichheit der Farbe in den beiden Hälften der doppelten Platte wieder herzuſtellen, wie ſich aus den Geſetzen der Circularpolariſation leicht nachweiſen läßt; in dieſem Falle wird die Drehung, welche durch den zu prüfenden Körper hervorgebracht wurde, durch einen aus zwei Quarzkeilen zuſammengeſetzten Apparat neutraliſirt. Auch Pouillet machte bei ſeinen Verſuchen von dieſen Quarzkeilen Gebrauch. Da jedoch gerade bei der elektromagnetiſchen Circularpolariſation meiſt nur geringe Drehungen vorkommen, ſo iſt dieſer Theil des Soleil'ſchen Apparates für uns nicht weſentlich, weshalb auch hier von ſeiner näheren Beſchreibung abſtrahirt werden kann.

Eine andere Methode, kleine Drehungen der Polariſationsebene merklich zu machen, beſteht darin, daß man das Ocularnichol durch ein achromatiſirtes Kalkſpath- oder Quarzprisma erſetzt, welches doppelte Bilder giebt. Iſt nun vor dem Nichol, durch welches die Strahlen polariſirt werden, eine Blendung mit kreisförmiger Oeffnung angebracht, ſo wird man im Allgemeinen zwei Bilder dieſer Oeffnung ſehen. Der ganze Apparat muß nun gerade ſo adjuſtirt werden, daß dieſe beiden kreisförmigen Bilder einander gerade berühren, und dann dreht man das Ocularprisma ſo, daß die beiden Bilder genau gleich hell erſcheinen, wenn keine Circularpolariſation zwiſchen dem Nichol und dem Zerlegungsprisma ſtattfindet; ſobald dieſe aber nun durch Schließung der Kette bewerkſtelligt wird, hört die Gleichheit der beiden Bilder auf, und dies iſt um ſo merklicher, weil ſie unmittelbar neben einander liegen.

E. Becquerel (Ann. de chim. et de phys. T. XVII, 437.) ſetzte auf die Pole eines vertical ſtehenden Uförmigen Elektromagneten parallelepipediſche Stücke von weichem Eiſen, welche 11 Centimeter breit (gleich dem Durchmeſſer der Schenkel ſeines Elektromagneten), 16 Centimeter lang und 5 Centimeter hoch waren. Dieſe Stücke waren ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hatte die Höhlung 2 Centimeter Durchmeſſer; gehörig aufgeſetzt, bildet die eine dieſer Röhren genau die Verlängerung der anderen. Die zu unterſuchende Subſtanz wird zwiſchen dieſe Eiſenſtücke angebracht, welche man, je nach den Umſtänden, bald mehr einander nähern, bald weiter von einander entfernen kann. Aus

Fig. 257 kann man die Diſpoſition des Apparates erſehen. Die Nichol'ſchen Prismen ſind bei *c* und *d* angebracht.

Fig. 257.



Die Mittel, mit welchen Becquerel experimentirte, waren ſehr bedeutend. Der Durchmeſſer des Eiſenkerns ſeines Elektromagneten betrug, wie der, mit welchem Faraday operirte, 11 Centimeter. Auf jeden Schenkel waren 910 Meter eines 2 Millimeter dicken Kupferdrahtes aufgewunden

Feſte Körper, die man dem Verſuch unterwerfen will, werden mit parallelen Flächen verſehen, Flüſſigkeiten aber zwiſchen parallelen Wänden von dünnem Glas an die entſprechende Stelle des Apparates gebracht. Damit dieſe Körper nicht zerdrückt werden, wenn nach Schließung der Kette die beiden Eiſenſtücke ſich anziehen, wird zwiſchen dieſelben noch eine Holzplatte gebracht, welche um etwas dicker iſt, als die zu unterſuchende Platte.

In einem Prisma von ſchwerem Glaſe (kieſel-borſaurem Bleioxyd) von 48 Millimeter Länge, betrug die mit dem beſchriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polariſationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16°, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit ſtarker Säure gefüllten Bunſen'ſchen Bechern

Das Stück ſchweren Glaſes, welches Becquerel zu dieſem Verſuch anwandte, wirkte theilweiſe ſelbſt depolariſirend, wie dies bei ſchnell abgekühlten Gläſern ſtets der Fall iſt, und was oft bei der größten Sorgfalt bei der Bereitung mancher Glasſorten kaum vermieden werden kann. In ſolchen Fällen hat man die Veränderungen zu beobachten, welche im ſchwarzen Kreuze vorgehen.

Nach den Verſuchen von Becquerel befolgt die Größe der Drehung der Polariſationsebene für die verſchiedenfarbigen Strahlen daſſelbe Geſetz, welches Biot für die natürliche Drehung im Quarz, in einer Zuckerlöſung u. ſ. w. nachgewieſen hat, d. h. unter ſonſt gleichen Umſtänden verhält ſich die Drehung der Polariſationsebene umgekehrt, wie die Wellenlänge der verſchiedenfarbigen Strahlen.

Wenn man mit Platten derſelben Subſtanz experimentirt, welche aber verſchiedene Dicke haben, ſo findet man nach Becquerel's Angaben, daß eine Platte von 1 bis 2 Centimeter Dicke, wenn die Eiſenſtücke ihr auf beiden Seiten faſt bis zur Berührung genähert ſind, eine faſt eben ſo große Drehung gab, wie eine 10 Centimeter dicke unter gleichen Umſtänden. Es kommt dies, nach Becquerel's Meinung, daher, daß,

wenn man die Eiſenſtücke nähert, ihr polare Intenſität in dem Maaße wächſt, daß durch die Zunahme der magnetiſchen Intenſität die Abnahme in der Dicke der unterſuchten Subſtanz faſt compenſirt wird. Wenn man aber die Eiſenſtücke in gleicher Entfernung läßt, und zwiſchen ſie Platten von verſchiedener Dicke bringt, ſo vermindert ſich der Effect, wenn die Platten dünner werden. Es iſt deshalb nicht vortheilhaft, Platten anzuwenden, welche mehr als einige Centimeter dick ſind.

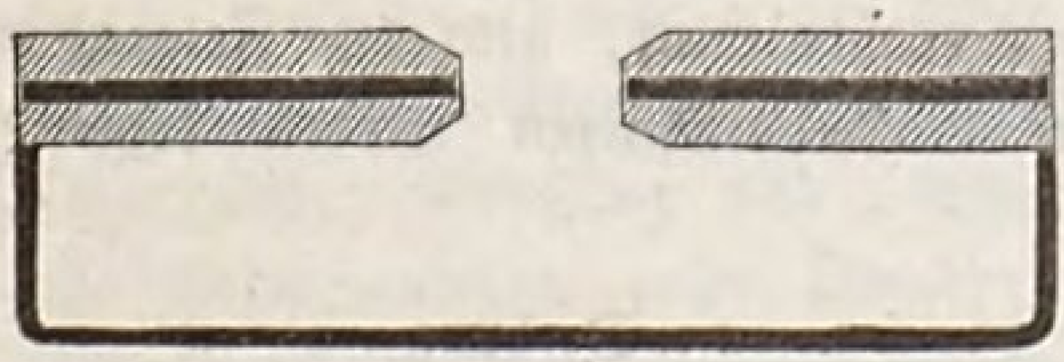
Auch bei dieſen Verſuchen zeigte ſich das ſchwere Glas am wirkſamſten; darauf folgt Flintglas und endlich Krownglas.

Unter den Flüſſigkeiten fand Becquerel die Auflöſungen der Chlormetalle beſonders wirkſam. Bei 1 Centimeter Dicke gab eine Löſung von Chlorzink 6°, Chlorcalcium und Chlornatrium 4,5°, reines Waſſer 3° Drehung. Alkohol und Aether wirkten ſchwächer als Waſſer.

Faraday hatte an doppeltbrechenden, ſenkrecht auf die Axe geſchliffenen Kryſtallen keine Drehung der Polariſationsebene finden können. Becquerel beobachtete bei einigen eine ſchwache Wirkung; ſo z. B. bei zwei auf einander gelegten Quarzplatten, von denen die eine rechts-, die andere linksdrehend und welche gleich dick waren, ſo daß ſich die Wirkung ihrer eigenthümlichen Drehung aufhob. An einer gelblichen Platte von Beryll zeigte ſich eine ſchwache Wirkung, an einer grünen blieb ſie aus. Eben ſo beobachtete Becquerel bei einer Turmalinplatte einen ſchwachen Effect, bei einigen anderen dagegen nicht.

Um die Drehung der Polariſationsebene durch Elektromagnetismus zu zeigen, conſtruirte Ruhmkorff einen Apparat, welcher mit Hülfe der Fig. 258 leicht verſtändlich zu machen iſt (Comptes rendus T. XXIII, 417, 538; Ann. d. chem. et d. phys. XVIII, 318.).

Fig. 258.



Zwei eiſerne Cylinder, von denen jeder 9 Centimeter lang iſt und 3 Centimeter Durchmeſſer hat, ſind mittelſt einer eiſernen Stange ſo mit einander verbunden, daß die Axe des einen die Verlängerung von der Axe des anderen bildet, und daß ihre coniſchen, einander zugewandten Enden 1 Centimeter weit von einander abſtehen. Dieſe eiſernen Cylinder ſind ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hat das cylindriſche Loch 1 Centimeter Durchmeſſer. Um jeden dieſer hohlen Cylinder iſt ein 100 Meter langer, 2 Millimeter dicker Kupferdraht gewunden; der Strom wird durch die Spiralen ſo hindurchgeleitet, daß die beiden einander zugekehrten Pole ungleichnamig ſind.

Matthieſen aus Altona hat viele Glasſorten unterſucht und unter

denſelben viele gefunden, welche unter dem Einfluſſe des Elektromagneten noch ſtärker drehen, als Faraday's ſchweres Glas ($SiO_3 . 2BO_3 PBO$). Namentlich zeichnen ſich in dieſer Beziehung die reinen Bleiſilicate SiO_3 $6PbO$ und $SiO_3 . 4PbO$, welche doppelt ſo ſtark wirken, als das Borſilicat von Blei. Leider laufen dieſe Glasſorten, wie auch das Faraday'ſche ſchwere Glas, an der Luft an. (Compt. rend. T. XXIV, p. 969; T. XXV, p. 20. Pogg. Ann. LXXIII, 65).

Die ausführlichſte Unterſuchung über magnetiſche Circularpolariſation hat Bertin angeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XVIII, p. 5. Pogg. Ann. LXXV, 420). Alle in ſeiner Abhandlung gegebenen Zahlen ſtellen die volle Drehung dar, welche die Polariſationsebene durch die Richtungsänderung des Stromes erleidet. — Nehmen wir an, man habe das Ocularnichol auf Null geſtellt und ſchließe nun die Kette, ſo wird die Polariſationsebene nach einer Seite, etwa nach der rechten gedreht, und man muß das Ocularnichol um n Grad rechts drehen, um das Geſichtsfeld wieder auf ein Minimum von Lichtſtärke zu bringen; kehrt man aber jetzt den Strom ganz um, ſo muß man den Zerleger nun um $2n$ Grad nach der Linken drehen, um das Geſichtsfeld wieder dunkel zu machen. Dieſe der Stromumkehrung entſprechende Drehung $2n$ iſt es, welche Bertin ſtets beobachtete.

Wie die Erſcheinungen der gewöhnlichen Circularpolariſation, ſo würden auch die Erſcheinungen der elektromagnetiſchen Circularpolariſation weit einfacher werden, wenn man ſtatt des weißen Lichtes, homogenes anwendete, wenn man etwa durch rothe Gläſer beobachtete.

Bertin wandte bei ſeinen Verſuchen theils die Becquerel'ſche, theils die Ruhmkorff'ſche Vorrichtung an. Wie ſehr die Wirkung mittelſt der durchbohrten Aufſätze Becquerel's im Vergleich gegen die urſprüngliche Beobachtungsmethode Faraday's erhöht wird, geht aus Folgendem hervor. Bei Anwendung deſſelben Elektromagneten werden folgende Drehungen beobachtet.

Subſtanz	Dicke	Drehung mit Aufſätzen		Drehung ohne Aufſätze	
Sehr dichtes Flintglas	55,1mm	21°	0′	4°	30′
Faraday's Glas	48,3	25	6	6	30
Deſtillirtes Waſſer	130,0	5	30	3	0

Begreiflicher Weiſe ändert ſich der Effect bei Anwendung der gleichen Anzahl galvaniſcher Elemente, je nachdem man ſie anders combinirt. Bertin hat darüber beſondere Verſuche angeſtellt. Mit einem Ruhmkorff'ſchen Apparate brachte er in einem 39 Millimeter langen Stück Faraday'ſchen Glaſes folgende Drehungen hervor:

Anzahl der Elemente	Mit einer Säule von		Beobachtete Drehung	
80	80 . . .	1 fachen Bechern	23°	30′
80	40	2 » »	25	20
80	20	4 » »	26	30
40	40	1 fache Becher	20	30
40	20	2 » »	22	30
40	10	4 » »	18	30
20	20	1 fache Becher	17	30
20	5	4 » »	13	0
10	10	1 fache Becher	14	30
1	1	1 fache Becher	3	

Um bei gegebener Becherzahl die zweckmäßigſte Combination derſelben zu ermitteln, hätte man übrigens nicht nöthig, erſt eine ſolche Verſuchsreihe anzuſtellen. Hat man einmal den Widerſtand des Spiraldrahtes ermittelt, welcher die Eiſenkerne des Elektromagneten umgiebt, ſo kann man leicht berechnen, wie man eine gegebene Anzahl von Bechern verbinden muß, um die größte Wirkung zu erhalten.

Bertin hat in einer Vorleſung die Erſcheinungen der magnetiſchen Circularpolariſation mittelſt einer Soleil'ſchen Lampe auch objectiv dargeſtellt.

Die Richtung der Drehung der Polariſationsebene fand er in allen möglichen Combinationen ſtets dem ſchon von Faraday ausgeſprochenen Geſetze entſprechend.

Bertin vergleicht nun dies Geſetz mit der Theorie, welche Fresnel von der drehenden Polariſation gegeben hat: »Nachdem er (Fresnel) »bewieſen hat, daß ein geradlinig polariſirter Strahl zerlegt werden kann »in zwei circular polariſirte von entgegengeſetzter Drehung und umge»kehrt, brauchte er nur anzunehmen, daß eine auf ihrer Axe winkelrechte »Quarzplatte die Eigenſchaft habe, circularpolariſirende Strahlen von ent»gegengeſetzter Drehung mit ungleicher Geſchwindigkeit durchzulaſſen, und »alle Erſcheinungen beim Quarz ergaben ſich als nothwendige Folgen. »Ebenſo dürfen wir nur annehmen, die Gegenwart des Elektromagneten »oder, was daſſelbe iſt, eines kreisrunden Stromes ertheile den durchſichtigen »Körpern die Eigenſchaft, denjenigen circularpolariſirten Strahlen, deren »Lichttheilchen ſich in gleichem Sinne wie der Strom drehen, einen leich»teren Durchgang zu verſtatten, und das allgemeine Geſetz der elektromagne»tiſchen Circularpolariſationen ſtellt ſich als nothwendige Folge dieſer ein»fachen Hypotheſe dar.«

Auf eine ſehr zweckmäßige Weiſe benutzte Bertin die Eigenſchaft der magnetiſchen Circularpolariſation, daß ein Strahl, welcher im Diamagneticum hin und her geht, doppelt ſo ſtark gedreht erſcheint, als wenn er nur

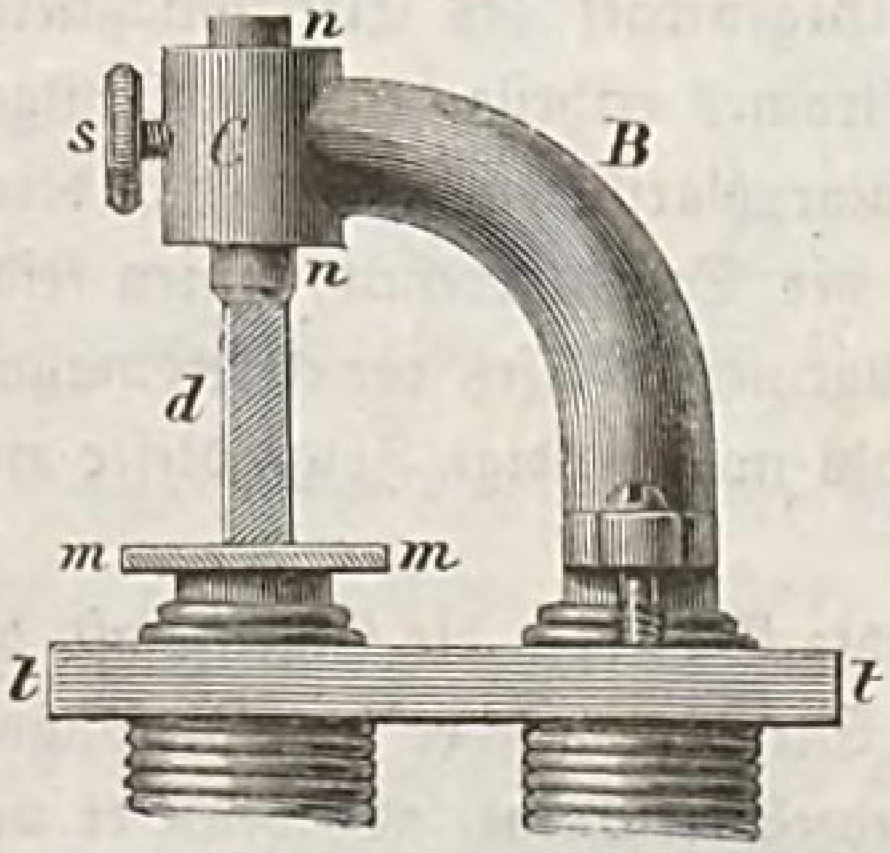
einmal die Dicke deſſelben durchlaufen hätte, indem er einen Nörremberg'ſchen Polariſationsapparat geradezu auf den einen Pol des (verticalſtehenden) Elektromagneten ſetzte. Der belegte horizontale Spiegel *c* dieſes Polariſationsapparates (ſiehe mein Lehrbuch der Phyſik 3te Aufl. 2ter Bd. S. 270.) wurde dort auf die Fläche des Elektromagneten gebracht und auf dieſen ein Stück Faraday'ſchen Glaſes. So lange kein Strom durch den Apparat geht, ſieht man das Geſichtsfeld dunkel, wenn die Polariſationsebenen des untern Polariſationsſpiegels und des Zerlegers (beſſer ein Nichol'ſches Prisma als ein Spiegel) gekreuzt ſind; ſo wie aber der Strom hindurchgeht, erſcheint die Platte hell, und man muß den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polariſationsapparat auf einen Südpol ſteht, nach der linken im entgegengeſetzten Fall, um wieder ein Minimum von Lichtſtärke zu erhalten. Für eine 18^{mm} dicke Platte Faraday'ſchen Glaſes betrug dieſe Drehung 10^0, für eine 48^{mm} dicke betrug ſie 21^0.

Die große Intenſität der auf dieſe Weiſe über einem Pol eines Elektromagneten beobachteten Wirkung macht die erwähnte Benutzung des Nörremberg'ſchen Apparates zur Beobachtung der elektromagnetiſchen Circularpolariſation beſonders empfehlenswerth, namentlich da ſie auch unter allen Beobachtungsmethoden die bequemſte und einfachſte iſt. Wenn man nicht ſchon einen Nörremberg'ſchen Apparat beſitzt, welcher ſich bequem auf den Elektromagneten aufſetzen läßt, ſo kann man leicht einen kleinen gerade auf einen Pol des Elektromagneten paſſenden conſtruiren.

Da jedoch der Nullpunkt der Lichtſtärke bei der unvollſtändigen Polariſation, welche der untere Spiegel bewerkſtelligt, nicht mit großer Schärfe zu beſtimmen iſt, ſo bietet in dieſem Falle die Anwendung der ſchon beſprochenen doppelten Platte große Vortheile. In der That hat ſie Bertin auch bei dieſen Verſuchen angewandt.

Mit einem ſolchen Elektromagneten, wie er Fig. 497 des 2ten Bandes meines Lehrbuchs der Phyſik (3ten Auflage) abgebildet iſt, deſſen Eiſen 35^{mm} Durchmeſſer hatte, gelang es mir, nach der Bertin'ſchen Methode, nur höchſt unbedeutende Wirkungen zu erhalten. Um ſie zu verſtärken ging ich darauf aus, auch bei Anwendung des Nörremberg'ſchen Polariſationsapparates das Diamagneticum zwiſchen zwei Magnetpole zu bringen. Die Art und Weiſe wie ich dies bewerkſtelligte, iſt Fig. 259 dargeſtellt. Auf den einen Pol des Elektromagneten wird ein ei-

Fig 259.



ferner Bügel B aufgeſetzt und durch Holzſchrauben feſtgehalten, welche in das Brettchen t eingelaſſen ſind. Gerade über der Mitte des anderen Poles endigt der Bügel B mit einem hohlen Eiſencylinder C, in welchem ein eiſernes Rohr nn von wenigſtens 2''' innerer Oeffnung und nahe 2''' Wanddicke auf- und abgeſchoben, und mittelſt der Schraube s an jeder beliebigen Stelle feſtgeſtellt werden kann. nn wird ſo gerichtet, daß es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums d aufſitzt, welches auf dem belegten Spiegel mm des Nörremberg'ſchen Apparates ſteht. Mittelſt dieſer Vorrichtung habe ich bei Anwendung von 20 Bunſen'ſchen Elementen (5 vierfache) in einem 5 Centimeter hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polariſationsebene von 9° bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimenſionen dieſer Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem ſie angebracht werden ſoll.

Faraday hielt es für wahrſcheinlich, daß in wäſſerigen Löſungen das Waſſer und nicht der gelöſte Stoff die drehende Subſtanz ſey; Bertin hat dargethan, daß dies nicht der Fall iſt. Zunächſt fand er, daß gerade die waſſerfreien Flüſſigkeiten die ſtärkſte magnetiſche Circularpolariſation zeigen, dann aber auch, daß es unter den gelöſten Stoffen einige giebt, welche das Drehungsvermögen des Waſſers vermehren, andere, welche es vermindern.

Bei einer Dicke von 1 Centimeter fand er die Drehung in einigen waſſerfreien Flüſſigkeiten folgendermaßen:

Zinnchlorid	7°	30'
Schwefelkohlenſtoff . .	7°	0
Phosphorchlorid , . .	5°	

während eine gleich dicke Waſſerſchichte unter denſelben Umſtänden die Polariſationsebene nur um 2° 20' dreht.

Den Einfluß der Verdünnung zeigen folgende Beobachtungen. Bei einer Dicke von 13 Millimeter und unter ſtets gleichen Umſtänden drehte

eine concentrirte Löſung von Chlornatrium	6°	20'
dieſelbe Menge Salz in der 2fachen Waſſermenge	4	55
» » » » 4 » »	4	40
» » » » 8 » »	4°	0
reines Waſſer	3°	40

Mit einigen anderen concentrirten Löſungen erhielt er folgende Reſultate:

Drehung einer concentrirten Löſung von			Drehung einer gleich dicken Waſſerſchichte unter denſelben Umſtänden	
Chlormagneſium	6°	5'	3°	30'
Chlorzink	10	0	4	30
Chlorſtrontium	5	30	4	15
Salpeterſaures Ammoniak	3	45	4	55
Schwefelſaures Eiſen	4	20	6°	0

Das Drehungsvermögen des Schwefelkohlenſtoffs iſt dreimal größer, als das des Waſſers, und halb ſo groß, als das des Faraday'ſchen Glaſes; dieſe Flüſſigkeit iſt deshalb ſehr geeignet, bei dieſen Verſuchen die ſeltenen Gläſer zu erſetzen.

Das Drehungsvermögen des Alkohols fand Bertin, wie ſeine Vorgänger, kleiner als das des Waſſers.

266 **Geſetz der Dicke und des Abſtandes.** Bei einer und derſelben Subſtanz ändert ſich die Stärke der Drehung mit der Dicke; allein das Geſetz dieſer Drehung iſt von verſchiedenen Experimentatoren, welche ſich mit dieſer Aufgabe beſchäftigt haben, verſchieden angegeben worden. Einige ſagen: die Drehung ſey proportional der Dicke, nach Anderen iſt dies nicht der Fall. Bertin hat das Verhältniß der Dicke zur Drehung einer genauen Prüfung unterworfen.

Betrachtet man nur die Wirkung eines Pols, ſo iſt klar, daß ſie von Schichte zu Schichte abnehmen muß, bis zu einer gewiſſen Entfernung, in welcher der Pol keine drehende Wirkung mehr ausüben kann. Da ſich die Drehungen in den einzelnen Schichten addiren, ſo iſt klar, daß, wenn man wachſende Dicken deſſelben Körpers dem Einfluß eines einzigen Pols unterwirft, die Drehungen mit der Dicke bis zu einer gewiſſen Gränze zunehmen, von welcher an eine Vermehrung der Dicke keinen merklichen Einfluß mehr ausübt.

Bringt man die Subſtanz zwiſchen zwei Pole, ſo iſt klar, daß ſich die Wirkung verdoppeln, daß aber das Geſetz derſelben bleiben muß, wobei nur noch in Betracht zu ziehen iſt, daß, wenn man die Pole ſtets mit dem Diamagneticum in Berührung erhält, man bei wachſender Dicke deſſelben die Pole ſelbſt weiter aus einander rücken muß, wobei ihre Stärke nothwendig abnimmt.

Zwiſchen den verſchiebbaren Polen eines Becquerel'ſchen Apparates beobachtete unter andern Bertin folgende zuſammengehörige Dicken und Drehungen an Waſſer:

Dicke der Schichte		Drehung	
1 Centimeter		2°	0′
2	„	3	30
3	„	4	25
13	„	5	0
15	„	5	0

wodurch die oben angedeutete Anſicht gerechtfertigt erſcheint.

Um zu einem beſtimmten Geſetze zu kommen, unterſuchte Bertin zunächſt die auf ein und daſſelbe Stück eines Diamagneticums von einer Rolle des Ruhmkorff'ſchen Apparates (nach Entfernung der andern) in verſchiedenen Entfernungen hervorgebrachte Wirkung. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate dreier in dieſer Beziehung angeſtellten Beobachtungsreihen:

1) Verſuche mit Faraday'ſchem Flintglaſe 38,9ᵐᵐ dick

Abſtand d. Glaſes v. dem Pol.	Beobachtete Drehung.	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung.	Unterſchied zwiſ. d. berechneten u. beob. Drehung.
0ᵐᵐ	11° 12′	0,9821	11° 12′	0
1	11 0	0,9470	10 56	— 4′
2	10 25	0,9712	10 44	+ 19
3	10 7	0,9719	9 57	— 10
4	9 50	0,9661	9 51	+ 1
5	9 30	0,9824	9 35	+ 5
6	9 20	0,9417	9 16	— 4
7	8 47	0,9772	9 4	— 17
8	8 35	0,9709	8 34	— 1
9	8 20	0,9508	8 22	+ 2
10	7 55		8 6	+ 11

2) Verſuche mit Faraday'ſchem Flintglaſe 38,9ᵐᵐ dick.

0	12° 30′	0,8934	12° 30′	0′
5	11 10	0,8582	11 4	— 6
10	9 35	0,8870	9 54	+ 19
15	8 30	0,8716	8 30	0
20	7 25	0,8876	7 31	+ 6
25	6 35	0,8735	6 33	— 2
30	5 45	0,8840	5 50	+ 5
35	5 5	0,9016	5 5	0
4	4 35	0,8728	4 31	— 4
45	4 0	0,895	4 4	+ 4
50	3 35		3 32	— 3

3) Verſuche mit Matthieſen'ſchem Flintglaſe 44ᵐᵐ dick.

0	7° 40′	0,8261	7° 40′	0
10	6 20	0,7895	6 1	— 19
20	5 0	0,7333	4 56	— 4
30	3 40	0,7727	3 53	+ 14
40	2 50		2 53	+ 3

Man überſieht leicht, daß, wenn man die Entfernungen in arithmetiſcher Reihe wachſen läßt, daß alsdann die entſprechenden Drehungen in geometriſcher Reihe abnehmen, denn wenn man die nächſtfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, ſo erhält man ſehr nahe denſelben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabellen erſieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglaſe erzeugte Drehung, und mit Ar die von demſelben in 1 Millimeter Abſtand erzeugte, ſo iſt die Wirkung der (Ruhmkorff'ſchen) Rolle in x Millimeter Abſtand

$$y = Ar^x$$

Nach dieſer Formel ſind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, in dem man $r = 0{,}97587$ ſetzte, was nahe zu dem Mittel aus den Quotienten der erſten Verſuchsreihe gleich iſt, während $r^5 = 0{,}88504$ und $r^{10} = 0{,}78233$ nahezu die Mittel aus den entſprechenden Quotienten der zweiten und dritten Verſuchsreihe ſind.

Man ſieht, daß die Differenzen zwiſchen den beobachteten und den berechneten Drehungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen, daß alſo die Verſuche das durch die Gleichung $y = Ar^x$ ausgedrückte Geſetz rechtfertigen, und zwar für alle Dicken.

Dieſe Formel wird zu einem Geſetze führen, welches die Drehung mit der Dicke verknüpft, vorausgeſetzt, daß jede einzelne Schichte eines Körpers dieſelbe Einwirkung erleidet, wie wenn ſie allein da wäre.

Um ſich davon zu überzeugen, daß dies wirklich der Fall iſt, brachte Bertin zwei Flintgläſer in Contact zwiſchen die beiden Pole in beſtimmten Lagen und beobachtete die Drehungen, die von den beiden Gläſern zuſammen und einzeln in der Anfangs angenommenen Lage ausgeübt wurden. Es ergab ſich, daß die erſtere Drehung ſtets die Summe der beiden andern iſt. Folgendes ſind einige der von Bertin in dieſer Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläſer.	Drehungen bewirkt von den Flintgläſern		Unterſchied zwiſchen der dritten Zahl und der Summe der beiden erſten.
	einzeln.	zuſammen.	
Faraday'ſches 18,3mm dick	8° 10	25 10	− 5′
» 38,9 »	17 5		
» 38,9 »	12 15	19 32	+ 12′
Gemeines 43,5 »	7 5		

Die Wirkung eines Pols auf eine Schichte eines Körpers hängt alſo nach einem bekannten Geſetz allein von der Entfernung dieſer Schichte vom

Pole ab. (Bei dem Magnetiſiren eines Eiſenſtabes, der in die Nähe eines Magnetpols gehalten wird, findet bekanntlich ein anderes Verhalten ſtatt.)

Denken wir uns einen diamagnetiſchen Körper, welcher e Millimeter lang iſt und mit der einen Endfläche einen Magnetpol berührt, in Schichten von 1^{mm} Dicke zerlegt, bezeichnen wir ferner die durch den Pol in der erſten Schichte hervorgebrachte Drehung mit c, ſo iſt die in der zweiten cr, die in der dritten cr^2 u. ſ. w., die in der letzten Schichte endlich cr^{n-1}; die im ganzen Körper hervorgebrachte Drehung iſt alſo

$$c + cr + cr^2 + cr^3 + \ldots cr^{n-1} = c\,(1 + r + r^2 + \ldots r^{n-1})$$
$$= c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}.$$

Derſelbe Körper erleidet x^{mm} weit vom Pole entfernt, die Drehung

$$y = c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}\,r^x$$

Wenn der Körper gleichzeitig der Einwirkung der beiden Pole ausgeſetzt iſt, ſo wird die dadurch bewirkte Drehung durch die Formel

$$z = c\left(\frac{1 - r^e}{1 - r}\right)(r^x + r^{d-e-x})$$

ausgedrückt, wenn d die Entfernung der beiden Pole bezeichnet. Bertin fand die aus ſeiner Formel gezogenen Conſequenzen durch zahlreiche Verſuche beſtätigt.

In dieſer Formel ſcheint r weder von der Intenſität des Magnetismus, noch von der Natur des Körpers abzuhängen; dagegen hängt c von beiden ab.

Wie c mit der Intenſität des Magnetismus variirt, iſt noch zu unterſuchen; Bertin's Verſuche zeigen aber, welches auch ſonſt das Geſetz ſeyn mag, daß der Coefficient c bei einer Veränderung der magnetiſchen Intenſität für alle Subſtanzen in gleichem Verhältniß ſich ändert. Mit einem Becquerel'ſchen Elektromagneten wurden z. B. bei verſchiedener Stromſtärke folgende Drehungen beobachtet:

Faraday'ſches Flintglas 18,3^{mm} dick.	Schwefelkohlenſtoff 10^{mm} dick.	Verhältniß der Drehungen.
7° 42′	3° 18′	0,43
13 48	6 0	0,43
19 0	8 18	0,43

Wie ſich alſo auch die Intenſität der Pole ändern mag, ſo bleibt das Verhältniß zwiſchen den Drehungen des Glaſes und des Schwefelkohlenſtoffs doch ſtets daſſelbe.

Bertin ſchlägt vor, die Größe *c* Coefficient der magnetiſchen Polariſation zu nennen. Setzt man dieſen Coefficienten für das Faraday'ſche Flintglas gleich 1, ſo iſt er für

Gemeines Flintglas	0,53
Zinnchlorid	0,77
Schwefelkohlenſtoff.	0,74
Gelöſtes Chlorzink	0,55
Gelöſtes Chlorcalcium	0,45
Waſſer	0,25
Alkohol 36° B	0,18
Aether	0,15

267 **Drehung der Polariſationsebene im Innern der Magnetiſirungsſpirale.** Alle die bisher beſprochenen Verſuche Bertin's begreifen nur die Wirkung der Elektromagnete auf äußere Körper. Als er das Flintglas in die Höhlung des einen Ruhmkorff'ſchen Elektromagneten hineinſchob, konnte er keine Drehung der Polariſationsebene beobachten. Ein unter dieſen Verhältniſſen in die Höhlung hineingeſchobener Eiſenſtab würde wohl auch nicht magnetiſirt worden ſeyn. — Erſt als der zweite Elektromagnet dem erſteren genähert wurde, konnte eine ſchwache Wirkung beobachtet werden. —

Die Drehung der Polariſationsebene im Innern einer Magnetiſirungsſpirale ohne Eiſen iſt nicht weiter der Gegenſtand genauerer Unterſuchungen und Meſſungen geweſen. Den vorhandenen Notizen zufolge ſcheint die Drehung unter dieſen Umſtänden verhältnißmäßig weit ſchwächer zu ſeyn, als die durch Magnetpole bewirkte, wie ich denn auch die Drehung in Waſſer, welches in einer meſſingenen Röhre von 33 Centimeter Länge eingeſchloſſen, in die S. 495 beſchriebenen combinirten Spiralen eingeſchoben, bei Anwendung eines ſehr ſtarken Stromes nur ungefähr eine Drehung von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Graden zeigte.

Iſt das Diamagneticum in eiſernen Röhren eingeſchloſſen, welche in der Magnetiſirungsſpirale ſtecken, ſo erſcheint die Drehung der Polariſationsebene durch den Magnetismus des Eiſens modificirt, doch iſt das Geſetz dieſer Modification noch ganz unbekannt. Faraday experimentirte mit drei eiſernen Röhren, welche 27 Zoll lang waren und von denen jede $\frac{1}{8}$ Zoll Wanddicke hatte; ſie konnten leicht in einander und dann in eine Magnetiſirungsſpirale von 26,5 Zoll Länge eingeſchoben werden. Die engſte wurde mit Glasenden verſehen und mit Waſſer gefüllt; allein

in die Spirale gebracht, wurde ein gewiſſes Drehvermögen auf den polariſirten Strahl beobachtet. — Nun wurde die zweite Röhre darüber geſchoben; jetzt hatte das Waſſer ein ſtärkeres Drehvermögen, als aber endlich noch die dritte Eiſenröhre aufgeſchoben wurde, war das Drehungsvermögen wieder ſchwächer.

In dieſe Kategorie gehören auch die zu Anfang dieſes Paragraphen angeführten Beobachtungen Bertin's. Der geſetzliche Zuſammenhang dieſer Erſcheinungen iſt, wie bereits bemerkt, erſt noch zu ermitteln.

Schließlich muß ich noch bemerken, daß es ſehr wünſchenswerth wäre, daß die Phyſiker, welche ſich mit dieſen oder ähnlichen Unterſuchungen beſchäftigen, es doch nicht verſäumen wollten, die Tangentenbuſſole in den Schließungskreis einzuſchalten, damit die Stromſtärke, mit der ſie experimentirten, genau beſtimmt werden kann.

Magnetiſcher Zuſtand aller Subſtanzen. In der dritten Auflage 268
meines Lehrbuchs der Phyſik (2ter Theil Seite 271, Näheres über die Anſtellung des Verſuchs im Anhange, Seite 687) habe ich ſchon die Grundzüge der von Faraday gemachten Entdeckung mitgetheilt, daß die Pole eines kräftigen Magneten auf alle Körper wirken, theils anziehend, theils abſtoßend; daß Körper, bei denen eine Dimenſion vorherrſchend iſt, wenn ſie ſich in horizontaler Ebene frei zwiſchen zwei Magnetpolen umdrehen können, ſich endweder axial oder äquatorial ſtellen.

Faraday behandelt dieſe wichtige Entdeckung in der 20ſten Reihe ſeiner Experimentaluntersuchungen (Phil. Trans. f. 1846, p. 21; Pogg. Ann. LXIX, 289). An das in meinem Lehrbuche bereits Mitgetheilte anſchließend, habe ich aus der Faraday'ſchen Abhandlung noch Folgendes nachzutragen.

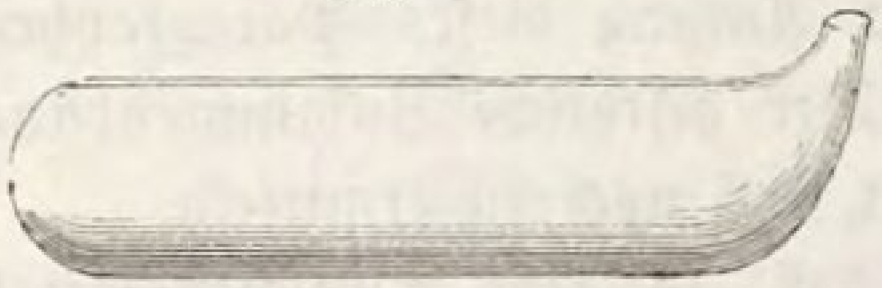
Unter den nicht metalliſchen Körpern fand Faraday mit ſeiner neuen Prüfungsmethode folgende Körper ſchwach magnetiſch: Papier, Siegellack, Tuſch, Berliner Porzellan, Seidenwurmdarm, Asbeſt, Flußſpath, Mennige, Zinnober, Bleiſuperoxyd, Zinkvitriol, Turmalin, Graphit, Schellack und Holzkohle. Dieſe Körper waren bisweilen ihrer ganzen Maſſe nach magnetiſch, bisweilen nur ein Theil derſelben.

Es iſt gleichgültig, ob der zu prüfende Körper aus einem Stücke oder ob er aus dem feinſten Pulver beſteht. Eine dünne Hülſe, mit Wismuthpulver gefüllt, ſtellt ſich eben ſo äquatorial wie ein Wismuthſtäbchen.

Um mit Flüſſigkeiten zu experimentiren, füllte ſie Faraday in Röhren von ganz dünnem Flintglas. An und für ſich ſtellt ſich Flintglas äquatorial, wenn aber die Wände der Röhre ſehr dünn ſind, ſo iſt der Effect ſehr gering, wenn man mit der Röhre allein experimentirt, während die Wirkung der gefüllten Röhre von der Art iſt, daß kein Zweifel ſeyn

kann, daß ſie von der Flüſſigkeit herrührt. Die Röhren dürfen natürlich nicht mit Wachs, Kork oder irgend einem anderen Körper verſchloſſen werden, weil dieſe Körper für ſich ſchon wirken würden. Faraday gab ſeinen Röhren die Geſtalt Fig. 260, die kleine Oeffnung auf der einen Seite, durch welche die Flüſſigkeit eingefüllt wird, bleibt offen.

Fig. 260.



Das ſchwere Glas ſtellt ſich auch noch zwiſchen den Polen eines guten Stahlmagneten äquatorial, wenn auch mit ungleich geringerer Kraft als bei einem Elektromagneten. Schraubendrähte ohne Eiſenkerne brachten eine ſolche Wirkung nicht hervor.

Folgendes iſt die Liſte der nicht metalliſchen Subſtanzen, welche Faraday mehr oder weniger ſtark diamagnetiſch fand: Schweres Glas, borſaures Bleioxyd, Flintglas, Krownglas, Bergkryſtall, ſchwefelſaurer Kalk, ſchwefelſaurer Baryt, Glauberſalz, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaure Magneſia, Alaun, Salmiak, Chlorblei, Chlornatrium, Salpeter, ſalpeterſaures Bleioxyd, Soda, Kalkſpath, Bleizucker, Brechweinſtein, Seignetteſalz, Weinſteinſäure, Citronenſäure, Waſſer, Alkohol, Aether, Salpeterſäure, Schwefelſäure, Salzſäure, Auflöſungen verſchiedener Salze der Alkalien und Erden, Glas, Bleiglätte, arſenige Säure, Jod, Phosphor, Schwefel, Harz, Wallrath, Olivenöl, Terpentinöl, Kautſchuck, Zucker, Stärke, Gummi, Holz, Elfenbein, getrocknetes Hammelfleiſch, friſches Rindfleiſch, Blut, Leder, Aepfel, Brod u. ſ. w.

Faraday bemerkt hierzu: »Es iſt ſonderbar, eine Liſte von Körpern »wie dieſe zu ſehen, welche ſämmtlich die merkwürdige Eigenſchaft zeigen, »und ſeltſam macht es ſich, daß Holz, Fleiſch oder ein Apfel dem Magnet »gehorcht oder von ihm abgeſtoßen wird. Wenn ein Menſch nach Du-»fay'ſcher Weiſe mit hinlänglicher Empfindlichkeit aufgehängt und in »das magnetiſche Feld gebracht werden könnte, würde er ſich äquatorial »richten; denn alle Subſtanzen, aus denen er gebildet iſt, mit Einſchluß »des Blutes, beſitzen dieſe Eigenſchaft.«

Da ſich bis dahin kein Zuſammenhang zwiſchen dem Verhalten der Körper gegen Magnetpole mit Leitung oder Nichtleitung, Durchſichtigkeit oder Undurchſichtigkeit, Starrheit oder Flüſſigkeit, kryſtalliniſchem oder amorphem Zuſtand, Ganzheit oder Zerſtückelung gezeigt hatte, ſo war es, ſagt Faraday, von hohem Intereſſe, zu erfahren, ob die Metalle ſich dieſem allgemeinen Verhalten anſchließen oder von ihnen abſondern würden.

Das zu prüfende Metall wurde in Form eines Stäbchens zwiſchen die Pole des Elektromagneten gebracht. Als magnetiſch betrachtet Fa-

raday diejenigen, die ſich axial ſtellen, während diejenigen, welche die äquatoriale Lage annehmen, als diamagnetiſch bezeichnet ſind. Folgendes ſind die Metalle, welche Faraday diamagnetiſch fand, und zwar nach der Stärke des Diamagnetismus geordnet: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Queckſilber, Silber, Kupfer.

Außer den bekannten magnetiſchen Metallen; Eiſen, Nickel und Kobalt nehmen noch Platin, Palladium und Titan die axiale Stellung an.

Wenn der cylindriſche Elektromagnet vertical geſtellt iſt, ſo bildet jeder Pol eine horizontale kreisrunde Fläche. Hängt man ein Wismuthkügelchen gerade über den Mittelpunkt eines Poles, ſo zeigt ſich keinerlei Abſtoßung; führt man die Kugel gegen den Rand des Poles hin, ſo wird ſie nach Innen abgelenkt; genau über dem Rande des Pols zeigt ſich wiederum keine Bewegung, über denſelben hinaus geführt, macht ſich aber eine nach Außen gerichtete Abſtoßung geltend. Es erklärt ſich dies dadurch, daß gerade von der Kante des Poles die kräftigſte magnetiſche Wirkung ausgeübt wird.

Beſtreut man ein auf den horizontalen Pol gelegtes Stück Papier mit fein gepulvertem Wismuth, ſo zieht es ſich, wenn der Elektromagnet in Thätigkeit iſt, von der Kante des Eiſenkernes zurück, eine kreisrunde Linie bloßlegend; iſt aber der Elektromagnet nicht in Thätigkeit, ſo kann man das Papier betupfen, ohne daß ſich etwas der Art zeigt.

Das Wismuth wird gut gerichtet und abgeſtoßen, wenn es in Waſſer, Alkohol, Aether u. ſ. w. eingetaucht, auch wenn es in Gefäße von Steingut, Glas, Kupfer, Blei u. ſ. w. eingeſchloſſen oder durch Schirme von Wismuth, Kupfer oder Blei geſchützt iſt. Selbſt innerhalb eines eiſernen Gefäßes aufgehängt, wird es gut und frei von dem Magnetpol abgeſtoßen.

Zuerſt wurde die Abſtoßung des Wismuths durch Magnetpole von Brugmans im Jahre 1778 beobachtet; Le Baillif fand ſie 1827 und hielt ſie für neu.

Faraday erwähnt dieſe älteren Beobachtungen, die aber ihrer Zeit als iſolirt ſtehende Erſcheinungen wenig Beachtung fanden; erſt durch ſeine Forſchungen iſt dies Verhalten gegen die Magnetpole als eine Eigenſchaft aller nicht magnetiſchen Körper erkannt und dadurch ein neues Feld für die Elektricitätslehre gewonnen worden.

Nachdem Faraday die normalen Erſcheinungen beſchrieben hat, welche an Stäbchen diamagnetiſcher Körper beobachtet worden, geht er zur Betrachtung einiger anomalen Erſcheinungen über, die er vorzugsweiſe an Kupferſtäbchen beobachtete. Weil uns bis jetzt noch der Schlüſſel zur vollen Erkenntniß dieſer Eigenthümlichkeiten fehlt, ſo dürfte es auch

am zweckmäßigſten ſeyn, nur das Weſentlichſte der Erſcheinung, und zwar mit Faraday's eigenen Worten, anzuführen.

»Hängt ein Kupferſtab zwiſchen den Polen und entwickelt man deren »Kraft in dem Moment, da er eine ſchiefe Lage zwiſchen der axialen und »äquatorialen Linie beſitzt, ſo geht er auf die axiale Lage zu, wie wenn er »magnetiſch wäre, er ſetzt jedoch ſeine Bewegung nicht bis zur Ankunft in »jene Lage fort, ſondern hält raſch ein, und kommt, ohne eine Schwin- »gung zu machen, alsbald zu einer todten Ruhe; dies geſchieht ſelbſt, wenn »der Stab vermöge der Torſion oder einer andern Urſache ſich von hier »mit einer Kraft bewegte, die ihn mehrmals im Kreiſe herum gedreht »hätte. — —

»Die Lage, welche der Stab angenommen hat, behauptet er mit einem »bedeutenden Grad von Hartnäckigkeit, ſo lange die Magnetkraft unter- »halten wird. Wird er aus ihr abgelenkt, ſo kehrt er nicht in dieſelbe »zurück, ſondern nimmt die neue Stellung in derſelben Weiſe ein und be- »harrt in derſelben eben ſo feſt. Ein Stoß, welcher den Stab, wenn kein »Magnetismus vorhanden wäre, mehrmals im Kreiſe herumdrehen würde, »bewegt ihn nur um 20° bis 30°. ——— Die vom Stab angenommene »Lage kann eine jegliche ſeyn. — — —

»Wenn der elektriſche Strom unterbrochen wird, nachdem der Magne- »tismus zwei bis drei Secunden unterhalten worden war, ſo erfolgt au- »genblicklich eine ſtarke Wirkung auf den Stab, welche wie ein Rückſtoß »ausſieht (denn der Stab geht zurück in der Bewegung, welche er beim »Schließen der Kette auf einen Moment annahm), allein mit ſolcher Ge- »walt, daß wenn er vielleicht 15° bis 20° vorgerückt iſt, der Rückſprung »manchmal zwei bis drei ganze Umdrehungen beträgt. —

»Dieſelbe Trägheit findet ſich auch bei einem Würfel und bei einer Ku- »gel von Kupfer, allein die Erſcheinungen der erſten Drehung und des »Rückſprungs hören auf. — — —

»Andere Metalle zeigen dieſe Erſcheinungen auch, aber um ſo ſchwächer, »je weniger gut leitend ſie ſind. Wismuth und ſchweres Glas zeigen nichts »der Art.«

Faraday verſucht nun dieſe Erſcheinungen auf die Bildung von Inductionsſtrömen zurückzuführen, welche im Kupfer entſtehen, eineſtheils durch ſeine Bewegung zwiſchen den Magnetpolen, anderntheils, daß nach Schließung der Kette der Magnetismus des Eiſens einige Zeit braucht, um bis zu ſeinem Maximum zu wachſen und nach Aufhören des galvaniſchen Stromes zu verſchwinden. Klar iſt, daß eine Kupfermaſſe, welche zwiſchen zwei Magnetpolen oscillirt, in Folge der dabei auftretenden Inductionsſtröme ſehr bald zur Ruhe kommen muß, wie ja auch eine Magnetnadel über einer Kupferſcheibe bald zur Ruhe kommt. Dieſer die

Bewegung hemmende Einfluß kann aber durchaus nichts ändern in der Richtung, welche die Kupferſtange einzunehmen hat, ſo wenig wie durch die in der Kupferſcheibe inducirten Ströme die Magnetnadel gehindert wird, ſich in den magnetiſchen Meridian einzuſtellen. Wie aber Faraday durch die beim Schließen der Kette im Kupferſtäbchen inducirten Ströme die kurze Bewegung gegen die axiale Lage hin erklären will, iſt mir wenigſtens aus ſeiner Auseinanderſetzung nicht klar geworden; auch ſehe ich nicht recht ein, auf welche Thatſachen geſtützt Faraday das Kupfer in die Reihe der diamagnetiſchen Metalle ſetzt.

Gehen wir nun zur einundzwanzigſten Reihe von Faraday's Experimentaluntersuchungen über (Phil. transact. f. 1846, p. 41; Pogg. Ann. LXX. 24).

Ein glühender Eiſendraht ſtellt ſich zwiſchen den Polen des Elektromagneten noch axial, doch iſt die richtende Kraft ſehr ſchwach. Beim Abkühlen wurde keine allmälige Zunahme der magnetiſchen Kraft bemerkt, bis die Temperatur zu einem gewiſſen Punkt gelangt; das Eiſen erlangte nun raſch, obwohl nicht inſtantan, ſeine hohe Magnetkraft und flog dann einem Pole zu.

Wie das Eiſen, ſo wird auch das Nickel bei ſteigender Temperatur indifferent gegen gewöhnliche Magnete, und zwar ſchon bei der Temperatur des ſiedenden Oels; zwiſchen den Polen des Elektromagneten wurde es aber noch axial geſtellt, wenn auch mit geringer Kraft, wie hoch auch die Temperatur ſtieg. Bei ſorgfältiger Senkung der Temperatur des Nickels ergab ſich, daß auch ſeine Magnetkraft allmälig zunahm.

Eiſenoxyde, Nickel- und Kobaltoxyd zeigten ſich magnetiſch, und zwar ſowohl kalt als warm.

Zu den Eiſenſalzen übergehend, fand Faraday auch dieſe magnetiſch, d. h. ſie ſtellten ſich axial. Es zeigte ſich magnetiſch: das Chlorür, Chlorid, Oxydulſulphat, Oxydſulphat, Nitrat u. ſ. w., von Eiſen eben ſo Berlinerblau; unter den natürlichen Eiſenverbindungen waren es Sumpferz, Blutſtein, Chromeiſenſtein, Schwefelkies u. ſ. w.

Grünes Bouteillenglas iſt wegen ſeines Eiſengehaltes ſehr ſtark magnetiſch. — Kryſtalle von gelbem und rothem Blutlaugenſalz hingegen ſtellten ſich äquatorial.

Auch die Löſungen der oben genannten Eiſenſalze ſtellen ſich, in Glasröhren gefüllt, axial.

Kryſtalle von ſchwefelſaurem Nickeloxyd und ſchwefelſaurem Kobaltoxyd wurden eben ſo wie ihre Löſungen magnetiſch gefunden; eben ſo die Löſung von Nickelchlorid und Kobaltchlorid.

Die Löſungen von Salzen diamagnetiſcher Metalle zeigten ſich nicht magnetiſch.

Es wurden drei Löſungen von Eiſenvitriol vorgerichtet, von denen die erſte 16 Procent, die zweite 4 Procent, die dritte endlich 1 Procent Salz enthielt. In Glasröhren gefüllt, ſtellten ſich alle drei Löſungen axial, wenn auch die richtende Kraft mit der Concentration der Löſung abnahm. Wurde zwiſchen die Magnetpole ein Gefäß mit Waſſer oder Alkohol gebracht und dann die Röhre mit der Vitriollöſung in dieſe Flüſſigkeiten hineingeſenkt, ſo ſtellte ſie ſich axial, wie in Luft; enthielt aber das Gefäß auch eine Löſung von Eiſenvitriol, ſo ſtellte ſich die Röhre nur dann axial, wenn die Löſung in der Röhre concentrirter war als die ſie umgebende. Eine Röhre mit der Löſung Nr. 2 ſtellte ſich axial in der Löſung Nr. 3, äquatorial in Nr. 1; in Nr. 2 war ſie indifferent; Nr. 3 ſtellt ſich in den beiden anderen Löſungen äquatorial, Nr. 1 ſtellt ſich axial in Nr. 2 und Nr. 3.

Gleiche Reſultate gaben Löſungen anderer Eiſenſalze.

Da die magnetiſchen Metalle, Eiſen, Nickel und Kobalt, in ihren Verbindungen ebenfalls Subſtanzen von magnetiſchen Eigenſchaften darſtellen, ſo ſchien es ſehr wahrſcheinlich, daß andere Metalle, hinſichtlich deren magnetiſchen Charakters, wegen eines möglichen Eiſengehaltes der unterſuchten Proben, Zweifel obwalten, auf dieſe Weiſe, nämlich durch Prüfung ihrer Verbindungen, in Bezug auf ihren magnetiſchen Charakter geprüft werden könnten.

Wollaſton hat die magnetiſchen Wirkungen des Titans beſchrieben und in der That ſtellte ſich auch reines Titanoxyd axial.

Mangan iſt, nach Berthier's Angaben, bei ſehr niedrigen Temperaturen magnetiſch. Faraday fand, daß ſich Manganoxyd, Manganoxydul und gereinigte Manganſalze, letztere ſowohl als Kryſtalle als in Löſung axial ſtellten.

Chromoxyd und Chromoxydul ſtellen ſich axial, aber die Löſungen von chromſaurem und doppeltchromſaurem Kali zeigen ſich diamagnetiſch, wohl deshalb, weil die diamagnetiſche Wirkung der Körper vorwiegt, mit welchen das ſchwach magnetiſche Chrom verbunden iſt

Platinchlorid, ſowohl trocken als in Löſung, ſtellte ſich äquatorial, Platinſchwamm aber axial.

Auf ähnliche Weiſe unterſuchte Faraday noch viele Metalle und ſtellt ſie nach ihrem magnetiſchen Verhalten geordnet in folgender Weiſe zuſammen:

Magnetiſch	Diamagnetiſch
	Wismuth
	Antimon
	Zink
	Zinn
	Kadmium
	Natrium
Eiſen	Queckſilber
Nickel	Blei
Kobalt	Silber
Mangan	Kupfer
Chrom	Gold
Cer	Arſen
Titan	Uran
Palladium	Rhodium
Platin	Iridium
Osmium	Wolfram.

0

Als Nullpunkt iſt derjenige Zuſtand angenommen, wo ein Metall oder eine Subſtanz, was Anziehung oder Abſtoßung betrifft, ſich indifferent verhält. Je weiter eine Subſtanz von dieſem Punkt geſtellt iſt, deſto entſchiedener tritt ſeine Anziehung oder Abſtoßung gegen den Magneten hervor. Bei genauerer Prüfung wird die obige Ordnung der Metalle wohl noch Modificationen erfahren.

Faraday experimentirte nun mit Gaſen. Er fand, daß ſie ſich durchaus neutral verhalten.

Eine dünne Glasröhre verhält ſich zwiſchen den Polen eines Elektromagneten ganz gleich, mag ſie nun Luft, ein anderes Gas oder einen Dampf enthalten, mag das Gas verdichtet oder verdünnt ſeyn, ſo weit man mit Hülfe einer Luftpumpe evacuiren kann. Die Wirkung iſt lediglich durch den Einfluß der Magnetpole auf die Glaswand beſtimmt; der gasförmige Inhalt der Röhre ändert nichts. — Eben ſo verhalten ſich andere aufgehängte Körper zwiſchen den Polen des Elektromagneten ganz auf gleiche Weiſe, mögen ſie nun von Luft oder einem andern Gas oder vom Vacuum umgeben ſeyn.

Faraday ſchloß daraus, daß die Gaſe vielleicht in der Mitte zwiſchen den magnetiſchen und diamagnetiſchen Körpern ſtehen, was jedoch, wie wir alsbald ſehen werden, nicht der Fall iſt; ihr neutrales Verhalten in dem eben betrachteten Falle erklärt ſich, wie Faraday bemerkt, auch dadurch, daß die Gaſe zu wenig dicht ſind, um den Einfluß der in

dem Verſuch gleichzeitig zur Wirkung kommenden feſten Körper zu modificiren.

269 **Theorie des Diamagnetismus.** Den Schluß der 21ſten Reihe von Experimentaluntersuchungen bildet eine Reihe von Betrachtungen über die beſprochenen Phänomene. Das Verhalten der diamagnetiſchen Körper gegen Magnetpole ließe ſich wohl, wie Faraday bemerkt, durch die Annahme erklären, daß in einem ſolchen Körper, alſo z. B. in einem Wismuthſtäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'ſchen Strömen des Magneten entgegengeſetzt ſind, ſo daß gleichnamige Pole einander gegenüber zu ſtehen kämen, während in magnetiſchen Metallen mit dem Magneten gleichgerichtete Ströme gebildet werden, ſo daß ſich ungleichnamige Pole einander gegenüberſtehen. Dies würde den Strömen in diamagnetiſchen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche zu Anfang des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetiſchen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören deſſelben inducirenden Stromes entſtehen. Faraday hat dieſe Anſicht aber weder ausgebildet noch feſtgehalten, ſondern gegen die von einer indifferenten Repulſion vertauſcht, hauptſächlich deshalb, weil man an zwei Wismuthſtäben, welche gleichzeitig dem Einfluß eines kräftigen Magneten ausgeſetzt ſind, bisher keine gegenſeitige Einwirkung wahrgenommen hat.

Welche von dieſen beiden Anſichten die richtige ſey, kam zunächſt durch Reich's Verſuche zur Entſcheidung.

Um über die Abſtoßung diamagnetiſcher Körper durch Magnetpole Verſuche anzuſtellen, wandte Reich eine zur Beſtimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde hergerichtete Drehwage an (Bericht über die Verhandlungen der k. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften, Sitzung vom 18ten Mai 1847; Pogg. Ann. LXXIII. 60). An einem ſtarken eiſernen an einer maſſiven Mauer befeſtigten Arme hängt mittelſt eines Kupferdrahtes ein horizontaler hölzerner Arm von 2 Meter Länge, und an jedem Ende deſſelben mittelſt feiner Metalldrähte einer Metallkugel; das Ganze iſt in einem hölzernen Gehäuſe eingeſchloſſen, welches aber nirgends mit der Drehwage in Berührung iſt. Der Arm trägt einen Spiegel, in welchem mit einem Fernrohre an einer entfernten Scala die Stellung des Armes beobachtet wird.

Die anhängenden Kugeln beſtanden aus Zinn mit 10 Procent Wismuth und etwa 2 Procent Blei. Als von der Seite her einer Kugel der Pol eines Magneten genähert wurde, entſtand eine deutliche Abſtoßung. Ein ſolcher Verſuch gab z. B. folgende Reſultate. Der Arm ſtand auf 41,5 der Scala. Als nun der Nordpol eines vierpfündigen Magnetſtabes ge-

nähert wurde, brachte er den Arm auf 53,14; der Südpol brachte ihn auf 54,05. Nach entferntem Magnet ſtellte ſich der Arm wieder auf 42,80. Nimmt man aus der erſten und letzten Ruhelage bei entferntem Magnete das Mittel, ſo ergiebt ſich:

Abſtoßung durch den Nordpol . . 11,445 Scalentheile
» » » Südpol . . 13,300 »

Die Differenz mag in einer unſymmetriſchen Vertheilung des Magnetiſmus im Magnetſtabe ihren Grund haben.

Wäre dieſe Abſtoßung eine indifferente, ſo müßten ein Nordpol und ein Südpol, von derſelben Seite her einer diamagnetiſchen Kugel genähert, ihre Wirkungen gegenſeitig verſtärken; iſt aber die Abſtoßung die Folge einer magnetiſchen Vertheilung im Sinne der früheren Faraday'ſchen Anſicht, ſo müſſen ſich die Wirkungen zweier gleichen von derſelben Seite her genäherten ungleicharmigen Pole gegenſeitig aufheben.

Reich ſtellte den Verſuch wirklich an, er näherte der Kugel von derſelben Seite her mehrere Magnetſtäbe und zwar zur Hälfte mit dem Nordpol, zur Hälfte mit dem Südpol; auf dieſe Weiſe war gar keine oder nur eine unbedeutende von der Ungleichheit der angewandten Magnete herrührende Wirkung wahrzunehmen, woraus hervorgeht, daß die Wirkung der Nordpole die Wirkung der Südpole aufhebt.

Die Zinnkugeln wurden mit Kugeln von Wismuth vertauſcht und dann die Stärke der Abſtoßung für verſchiedene Entfernungen zwiſchen der Kugel und dem Magnetpole gemeſſen; Reich folgert aus dieſen Verſuchen, daß:

1) die abſtoßende Wirkung vorzugsweiſe auf die zugewendete Oberfläche des diamagnetiſchen Körpers ſtattfinde, und

2) daß dieſe Abſtoßung abnehme, wie die dritte Potenz der Entfernung des Magnetpols zunimmt.

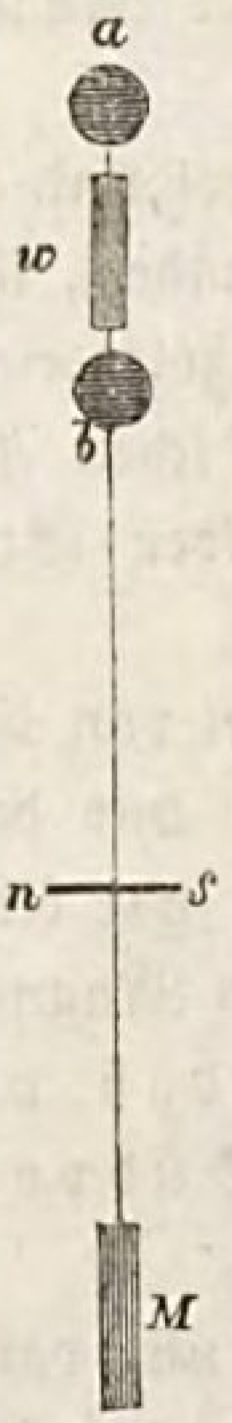
Nachdem Reich durch ſeine Verſuche dargethan hatte, daß die diamagnetiſche Abſtoßung des Wismuths die Folge einer durch den Magnetpol im Diamagneticum hervorgerufenen Polarität iſt, unternahm es Weber, die Natur derſelben näher zu ermitteln, wobei ihm die bereits angeführte erſte Vorſtellung Faraday's von dem Weſen des Diamagnetiſmus zum Ausgangspunkt diente.

Wenn in einem diamagnetiſchen Körper durch die Nähe eines Magnetpols wirklich eine Polarität hervorgerufen wird, welche mit der des wirkſamen Magnetpols gleichnamig iſt, ſo müſſen, ſchloß Weber, die diamagnetiſchen Pole unter Umſtänden auch anziehend auf einen Magnetpol wirken können. Zu dieſem Zweck darf man aber nicht diejenige Kraft beobachten, welche das diamagnetiſche Wismuth auf denjenigen Magnet-

pol ausübt, von welchem es ſelbſt diamagnetiſirt worden iſt, ſondern man muß ſolche Kräfte beobachten, welche jenes Wismuth auf andere Magnetpole in der Ferne ausübt, welche keinen Einfluß auf ſeinen diamagnetiſchen Zuſtand haben.

Weber hat dieſen Fall auf folgende Weiſe verwirklicht. Es ſei *ns*, Fig. 261, eine kleine Magnetnadel, welche an einem Coconfaden aufgehängt iſt; ein Wismuthſtäbchen *w* nun, welches ſich in einer Ebene befindet, welche die Magnetnadel rechtwinklig halbirt, wird nach Reich's Erfahrung für ſich keinerlei Ablenkung auf die Magnetnadel ausüben können. Wird nun ein Elektromagnet ſo aufgeſtellt, daß *w* gerade in die Mitte zwiſchen die beiden Pole *a* und *b* deſſelben zu liegen kommt, und dann das Wismuthſtäbchen entfernt, ſo wird der Elektromagnet die Magnetnadel allerdings kräftig ablenken, man kann aber dieſe Einwirkung dadurch wieder neutraliſiren, daß man einen Magnetſtab *M* in entſprechender Lage und Entfernung auf der andern Seite der Magnetnadel anbringt.

Fig. 261.



Bringt man nun nach dieſen Vorbereitungen daſſelbe Stück Wismuth, welches vorher auf die Nadel gar nicht wirkte, an die nämliche Stelle wie früher, d. h. zwiſchen die beiden Pole des Elektromagneten, ſo zeigt ſich nun eine ſehr wahrnehmbare und meßbare Wirkung, nämlich eine Ablenkung der Nadel in Folge davon, daß der eine Pol abgeſtoßen, der andere angezogen wird.

Kehrt man die Pole der Magnete (*ab* und *M*), deren Wirkungen auf die Nadel ſich compenſiren, um und wiederholt man dann den Verſuch, ſo findet man, daß das nämliche Stück Wismuth, an die nämliche Stelle und in die nämliche Lage gebracht, jetzt gerade die entgegengeſetzte Ablenkung hervorbringt.

Vertauſcht man das Stück Wismuth mit Eiſen, ſo findet man, daß die vom Eiſen hervorgebrachte Ablenkung ſtets die entgegengeſetzte von der iſt, welche das Wismuth unter denſelben Verhältniſſen bewirkt.

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, ſo werden in demſelben nach den bekannten Geſetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'ſchen Strömen des Magneten entgegengeſetzt ſind; wird z. B. ein Kupferſtäbchen dem Nordpol eines Magneten genähert, ſo wird das dem Magneten zugekehrte Ende des Kupferſtücks durch dieſe inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, ſelbſt zu einem Nordpol; Gleiches wird nun auch in einem Wismuthſtäbchen der Fall ſeyn, wie es Weber auch durch den Verſuch gezeigt hat.

Auf den oberen Pol eines kräftigen, ſtabförmigen Elektromagneten wurde eine Drahtrolle gelegt, welche bei 140^{mm} Länge eine innere Höhlung von 15^{mm} Durchmeſſer hatte; ihre Enden waren mit einem empfindlichen Multiplicator verbunden. War nun der Elektromagnet in Thätigkeit, ſo zeigte die Ablenkung des Multiplicators, daß ein Wismuthſtab beim Einſchieben in die Inductionsrolle, alſo während der Annäherung gegen den Magnetpol, eine der obigen Auseinanderſetzung entſprechende Polarität annimmt.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird alſo ein Wismuthſtab durch Induction in einen polaren Zuſtand verſetzt, welcher demjenigen ganz gleich iſt, welchen wir zur Erklärung der diamagnetiſchen Erſcheinungen annehmen müſſen. Bekanntlich ſind aber die Ströme, welche in der Maſſe eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, ſie verſchwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in ſeiner Stellung gegen den Magneten verbleibt; um alſo die Erſcheinungen des Diamagnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu zeigen, wie es möglich iſt, daß dieſer bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zuſtand ein bleibender ſeyn kann, ſo lange ſich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetiſche Fluida vorhanden, wie im Eiſen, oder wäre, was auf daſſelbe hinauskommt, jedes Wismuthmolekül ſchon von einem continuirlichen Strome unkreiſt, wie wir uns die Ampère'ſchen Ströme um die Eiſenmoleküle denken, ſo könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eiſen auch, d. h. er müßte die Fluida in der bekannten Weiſe ſcheiden oder er müßte die ſchon vorhandenen Molekularſtröme denen des einwirkenden Magnetpoles parallel ſtellen, kurz, auf ſchon vorhandene, durch den Magneten erſt zu richtende Molekularſtröme laſſen ſich alſo die Erſcheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetiſchen Körper ſeine Polarität ertheilen, müſſen alſo erſt bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, daß der Magnetismus in demſelben entſteht, gebildet werden, ſie dürfen aber nicht vorübergehend ſeyn, wie die gewöhnlichen in der Maſſe von Leitern inducirten Ströme, ſondern ſie müſſen beharrlich ſeyn, ſie müſſen ſo lange andauern, als der diamagnetiſche Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies iſt nun durch die Annahme zu erklären möglich, daß in dem diamagnetiſchen Körper Molekularſtröme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Moleküle des diamagnetiſchen Körpers umkreiſen, ſich aber nicht in der Maſſe derſelben, von einem Molekül zum andern fortſchreitend, bewegen.

Der Unterſchied zwiſchen Strömen, welche durch Leiter in größeren Kreiſen ſich bewegen, und den Molekularſtrömen beſteht nur darin, daß die ſtrömende Elektricität der erſteren beim Vorübergehen an den Molekülen des Leiters einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerſtand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft ſo ſchnell entzogen wird, daß ſie in einer unmeßbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muß, wenn ihr der erlittene Verluſt nicht durch fortdauernde elektromagnetiſche Kräfte immer wieder erſetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molekularſtrömen, welche nicht durch den Leiter von Molekül zu Molekül fortgehen, ſondern ſich um ein einziges Molekül herumbewegen, für die alſo jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft wegfällt. Dieſe Ströme beharren alſo ohne elektromotoriſche Kraft in gleicher Intenſität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, ſo können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden, die gewöhnlichen Inductionsſtröme, welche ſich durch die Maſſe des Körpers bewegen und mit den inducirenden Kraft verſchwinden, und inducirte Molekularſtröme, welche auf ihrem Wege um die Moleküle herum keinen Widerſtand finden und ungeſchwächt fortdauern müſſen, bis in Folge einer neuen entgegengeſetzten Induction neue entgegengeſetzte Molekularſtröme hinzukommen, welche die ältern aufheben.

Nach der Weber'ſchen Theorie des Diamagnetismus ſind alſo die hierher gehörigen Erſcheinungen durch Molekularſtröme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, daß in einem benachbarten Pole der Magnetismus entſteht, und welche ſo lange fortdauern, bis das Verſchwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des Diamagneticums von demſelben eine entgegengeſetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in größeren Kreiſen ſich bewegenden Inductionsſtröme können ſich in Iſolatoren nicht bilden, inducirte Molekularſtröme ſind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. ſchweres Glas, von den Magnetpolen abgeſtoßen werden und ſich äquatorial ſtellen.

Auch Poggendorff hat zwei Methoden angegeben, um die diamagnetiſche Polarität nachzuweiſen (Pogg. Annalen LXXIII, 475). Das erſte Verfahren beſteht darin, daß man einem Wismuthſtäbchen, während es neben dem einen Pol, z. B. dem Nordpol, eines kräftigen Elektromagneten an einem Coconfaden in äquatorialer Lage hängt, von derſelben Seite her den Südpol eines kleinen Stahlmagneten nähert. Bei einiger, ſich leicht ergebender Vorſicht kann man dann deutlich ſehen, daß die dem elektromagnetiſchen Pol zugewendete Seite des Stäbchens vom Stahlmagnet angezogen wird.

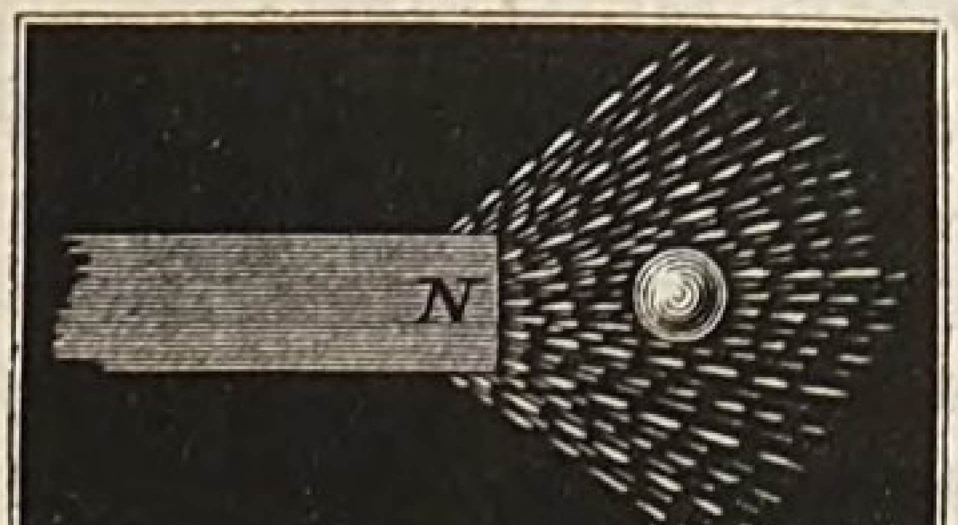
Noch überzeugender iſt das zweite Verfahren, welches von dem erſten darin abweicht, daß man den Stahlmagneten durch einen galvaniſchen Strom erſetzt. Das Wismuthſtäbchen wird zu dem Ende zwiſchen beiden Polen des Elektromagneten aufgehängt und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, deſſen Windungen das Stäbchen bei ſeiner äquatorialen Stellung rechtwinklig umgeben würden. Ein Strom, welcher durch die Spirale geht, wirkt nicht auf das Wismuthſtäbchen, ſo lange der Elektromagnet nicht in Thätigkeit iſt. Wenn aber der Elektromagnet in Wirkſamkeit geſetzt und das Wismuthſtäbchen dadurch in die äquatoriale Lage gebracht worden iſt, kann man es aus dieſer Lage ablenken, ſobald man einen Strom durch die Spirale gehen läßt, und zwar rechts oder links, je nach der Richtung des Stroms und zwar immer in dem Sinn, wie die Ablenkung erfolgen muß, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen beſitzen.

Hankel hat ebenfalls verſucht, eine Theorie des Diamagnetismus zu conſtruiren. Der Grundgedanken dieſer Theorie ſpricht er in folgenden Worten aus (Pogg. Ann. LXXV, 112):

»Das Licht und die ſtrahlende Wärme wirken durch die verſchiedenen »Körper hindurch, durchdringen ſie aber niemals ohne Verluſt, der theils »an ihrer Oberfläche, theils in ihrem Inneren ſtattfindet. Sollte die »magnetiſche Kraft allein ganz ungehindert durch die verſchiedenartigen »Subſtanzen hindurchdringen? Wenn dem nicht ſo iſt, ſo werden die von »dieſen ausgehenden magnetiſchen Kraftlinien, ſobald ſie eine in ihrer »Bahn beliebig gelegene Subſtanz durchdringen wollen, einen Widerſtand »finden, den ich mit einer Reibung vergleichen möchte. Durch dieſen Wi»derſtand wird ein Theil der magnetiſchen Kraftlinie aufgehalten oder ver»nichtet. Der von dem eingeſchalteten Körper erzeugte Widerſtand wird »nun an die Maſſe deſſelben übertragen werden und ein leicht beweglich »aufgehangener Körper muß in Folge deſſen eine Richtung annehmen, in »welche die von zwei oder mehreren Magnetpolen ausgehenden Kraftlinien »ſich hinſichtlich dieſes Widerſtandes oder der dadurch übertragenen Kräfte »im Gleichgewichte finden.«

»Das Vorſtehende wird ſogleich deutlicher werden, ſobald wir einige ſpe»cielle Fälle betrachten.«

Fig. 262.

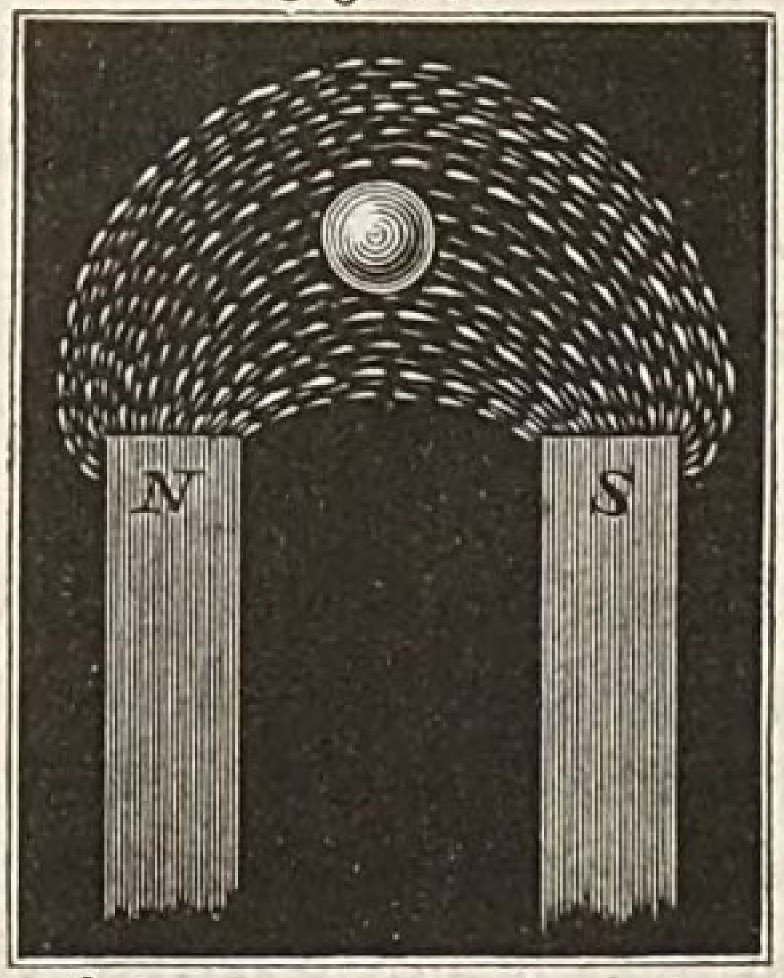


»Es ſei N Fig. 262 der Nordpol »eines Magneten; dann werden die »magnetiſchen Kraftlinien etwa die »durch die kleinen Striche angedeutete »Richtung haben. Eine vor dem »Magnetpole an einem langen Cocon»faden aufgehangene kleine Wismuth»

»kugel wird von dem Pole N abgeſtoßen werden, weil die magneti»ſchen Kraftlinien beim Durchgange durch die Kugel auf Hinderniſſe ſto»ßen. Durch dieſe, gewiſſermaßen als Reibung zu bezeichnende Wirkung »wird die Kugel von den Stellen der ſtärkeren Wirkung zu den Stellen »der ſchwächeren Wirkung übergeführt, bis dieſer äußerlich als Abſtoßung »erſcheinenden Kraft durch das Gewicht der Wismuthkugel das Gleichge»wicht gehalten wird. Ein Gleiches erfolgt auch, wenn der angewandte „Pol ein Südpol iſt.«

Hankel wendet nun ſeine Theorie auf die verſchiedenen diamagnetiſchen Erſcheinungen an. Die Beobachtung Reich's, daß eine Wismuthkugel nicht abgeſtoßen wird, wenn von derſelben Seite her ein Nord- und ein Südpol von gleicher Stärke genähert wird, erklärt er dadurch, daß für dieſen Fall die Magnetkraftlinie die Fig. 263 dargeſtellte Lage habe.

Fig. 263.



Zugegeben, daß Hankel's Theorie alle Erſcheinungen des Diamagnetismus ebenſo gut zu erklären im Stande ſey, wie die von Weber aufgeſtellte, ſo läßt ſich doch das Bedenken nicht unterdrücken, daß die Hankel'ſche Theorie ſo ganz allen Zuſammenhangs mit den Vorſtellungen entbehrt, die wir uns gegenwärtig von allen übrigen magnetiſchen und elektriſchen Erſcheinungen machen.

270 **Diamagnetismus der Flamme.** Die früheren Verſuche Faraday's gaben auf das Verhalten der Gaſe gegen Magnetpole keine entſcheidenden Reſultate; es blieb zweifelhaft, ob die Gaſe auf den magnetiſchen Nullpunkt zwiſchen die magnetiſchen und diamagnetiſchen Körper zu ſtellen ſeyen, oder ob die negativen Reſultate daher rührten, daß die Maſſe der Gaſe zu unbedeutend war, um die Wirkung der Magnetpole auf die Wandungen der dünnen Röhren zu modificiren, in welchen die Gaſe eingeſchloſſen waren.

Um die Univerſalität des Magnetismus darzuthun, machte Bancalari von Genua auf der im Herbſt 1847 zu Venedig gehaltenen Verſammlung italiäniſcher Naturforſcher Verſuche über das Verhalten der Flamme gegen Magnetpole, um auf dieſe Weiſe die Wirkung des Magnetismus auf Gaſe zu verificiren. Es ergab ſich, daß die Flamme, zwiſchen die Pole eines Elektromagneten geſtellt, im Augenblicke der Herſtellung des elektriſchen Stromes eine Abſtoßung erfährt, und bei Unterbrechung deſſelben ſogleich wieder in ihre urſprüngliche Lage zurückkehrt.

Zantedeſchi wollte den Verſuch wiederholen; anfangs glückte es ihm nicht, ſpäter aber gelang es ihm, die Erſcheinung ſelbſt mit ſehr geringen Mitteln hervorzubringen. (Gazz. Piemont. 1847, 12. Oct. Nr. 242; Pogg. Ann. LXXIII, 286.)

Nachdem Faraday Nachricht von den oben beſprochenen Reſultaten der italiäniſchen Naturforſcher erhalten hatte, ſtellte auch er Verſuche über das Verhalten der Flamme zwiſchen Magnetpolen an; er fand alsbald das Hauptreſultat, nämlich den Diamagnetismus der Flamme, beſtätigt. Im Weſentlichen fand ſtets eine Abſtoßung der Flamme durch die Magnetpole ſtatt, welche ſich dadurch zeigte, daß ſie, von den axialen Dimenſionen zurückweichend, ſich mehr in äquatorialer Richtung ausdehnt. (Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXI pag. 401. Pogg. Ann. LXXIII, 256.)

Auch Plücker hat, und zwar ganz ſelbſtſtändig, über dieſen Gegenſtand experimentirt, und ähnliche Reſultate erhalten, wie Bancalari, Zantedeſchi und Faraday. Was die näheren Details der Erſcheinung betrifft, ſo wollen wir der Plücker'ſchen Beſchreibung folgen, weil er ſie durch Abbildungen verdeutlicht hat. (Pogg. Ann. LYYIII, 549.)

Um die Frage über den Diamagnetismus der Gaſe zur Entſcheidung zu bringen, ſuchte Plücker zuerſt die Maſſe der dieſelben einſchließenden Hüllen möglichſt zu vermindern. Er experimentirte mit Seifenblaſen, erhielt aber nur negative Reſultate und wandte ſich deshalb zur Unterſuchung gefärbter Gaſe ohne Hüllen.

Die auf die Polflächen ſeines Elektromagneten aufgelegten Halbanker waren mit coniſchen Spitzen verſehen, die einander auf 3,5^{mm} genähert wurden. Unter dieſelben wurde eine etwas dickere, vorher erwärmte Platinplatte gebracht und das Ganze mit dem oben offenen Glaskaſten der Torſionswage überdeckt. Als nun Jodſtückchen auf die Platinplatte gebracht wurden, ſtiegen die Joddämpfe in Form einer ſchmalen geraden Säule zwiſchen den Polſpitzen in die Höhe; die Schließung der Kette bewirkte aber, daß ſie ſich in der Höhe der Polſpitzen augenblicklich theilte und in der Aequatorialebene eine Parabel bildete, die bis zu einer Höhe von 100 bis 150^{mm} noch ganz ſcharf blieb. Dieſer Verſuch beweiſt, daß die Joddämpfe von beiden Polen eines Magneten abgeſtoßen werden.

Aehnlich verhalten ſich Bromdämpfe, Chlor, ſalpetrige Säure, ſichtbarer Waſſerdampf u. ſ. w., alle zeigten ſich ſtärker diamagnetiſch als die Luft.

Da die verſchiedenen Flammen nichts anderes ſind, als die bei dem Verbrennungsproceſſe erzeugten, im glühenden Zuſtande befindlichen Gaſe mit oder ohne beigemiſchte glühende feſte Stoffe, ſo wandte ſich Plücker nun zur Unterſuchung des Einfluſſes, welchen die Magnetpole auf die

Flammen ausüben. Unter den mannigfaltigen Formen, welche die Erſcheinung darbietet, je nachdem man Form und Entfernung der Halbanker oder die Natur der Flammen ſelbſt abänderte, wollen wir einige der charakteriſtiſchſten hervorheben.

Die Polſpitzen waren durch einen Zwiſchenraum von 3,5^{mm} von einander getrennt; eine ruhig brennende, keinen Ruß abſetzende Talgkerze wurde ſo zwiſchen die Polſpitzen gehalten, daß ſich dieſe in $^7/_8$ der urſprünglichen Höhe der Flammen befanden. Fig. 264 *a* zeigt für dieſen Fall die äquatoriale Anſicht, Fig. 264 *b* den axialen Durchſchnitt der Flamme.

Fig. 264.

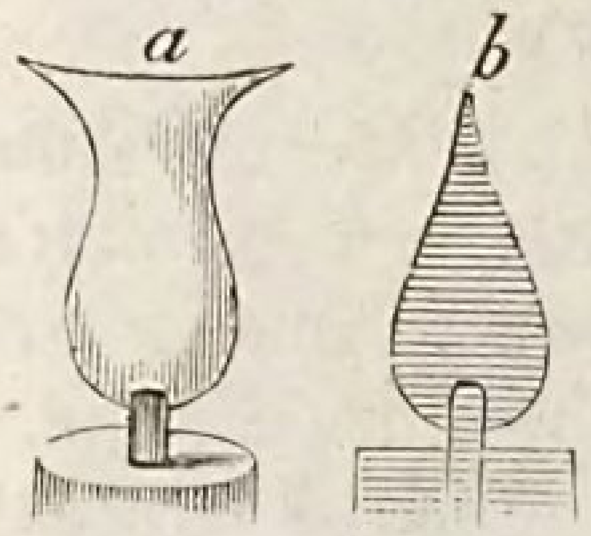
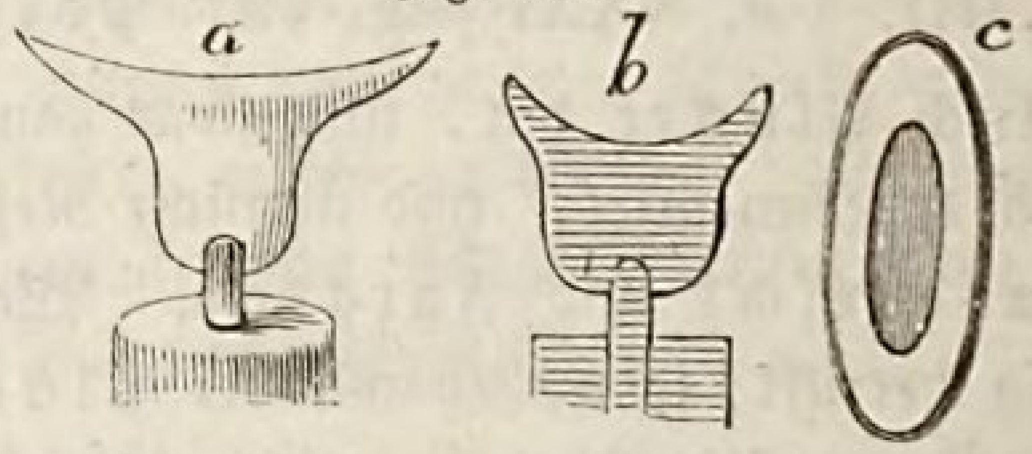


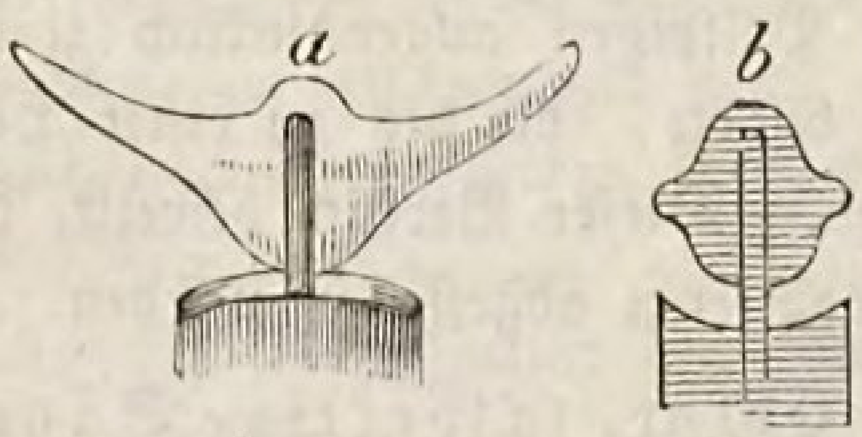
Fig. 265.



Als die Flamme gehoben wurde, ſo daß ſich die Polſpitzen in der Hälfte ihrer urſprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Geſtalt Fig. 265 *a* an, Fig. 265 *b* ſtellt den entſprechenden axialen Durchſchnitt dar. Fig. 265 *c* iſt eine Anſicht der Flamme von oben.

Endlich wurde die Talgkerze ſo weit gehoben, daß ſich die beiden Polſpitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden und die Flamme, durch die eiſernen Polſpitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geſchloſſen wurde, erhielt ſie nicht allein ihr früheres Licht wieder, ſondern ſie brannte noch ſtärker, indem ſie heruntergedrückt wurde und in der Aequatorialanſicht die Form Fig. 266 *a* annahm. Ein ſenkrechter axialer Durchſchnitt iſt in Fig. 266 *b* dargeſtellt.

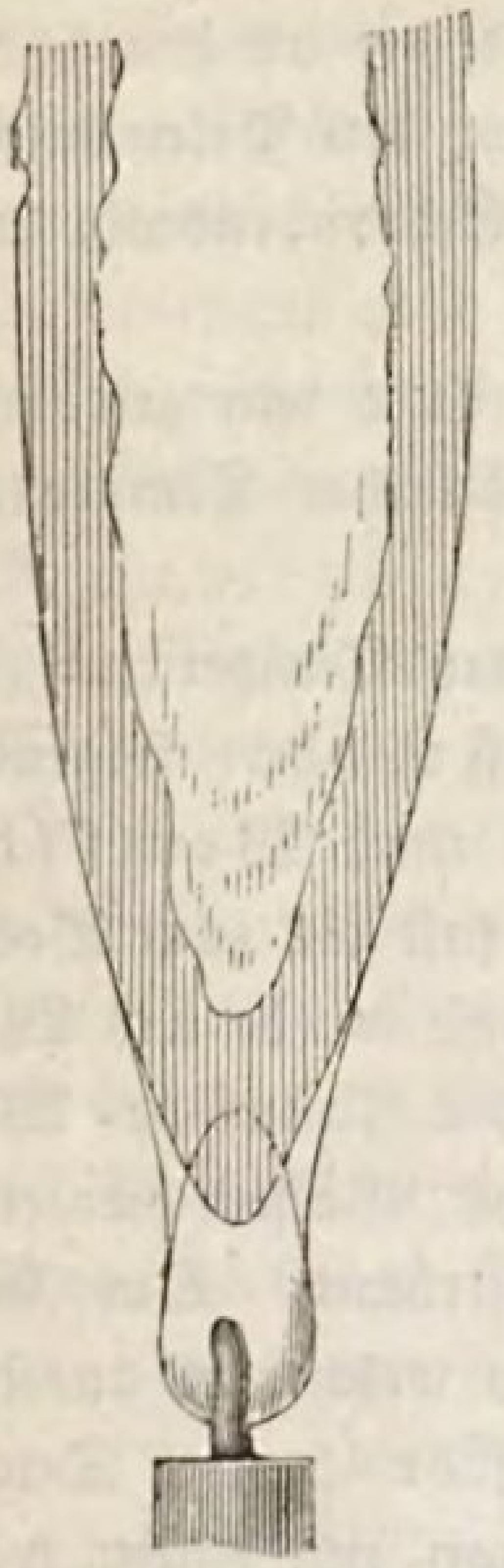
Fig. 266.



Bei dieſen Verſuchen mit der Talgkerze brannte dieſelbe, ohne Ruß abzuſetzen. Ein ſtark rußendes Talglicht bietet ganz andere Erſcheinungen dar. Wenn ſich insbeſondere die beiden Polſpitzen in $^3/_4$ der Höhe der urſprünglichen Flamme befanden, ſo ergab ſich beim Schließen der Kette die in Fig. 267 (ſ. gegenüberſtehende Seite) dargeſtellte Aequatorialanſicht. Der aufſteigende graue Qualm breitete ſich bei einer Dicke von 7^{mm} in der Aequa-

torialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts ſcharf von einer Parabel begränzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwiſchen die beiden Polſpitzen fällt.

Fig. 267.



Aehnliches zeigte eine rußende *Terpentinölflamme*, der von einem brennenden Stück *Zunder* aufſteigende Rauch u. ſ. w.

Alle die verſchiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluß von Magnetpolen annehmen, erklären ſich aus der Annahme, daß die Maſſe der Flammen durch die Magnetpole abgeſtoßen wird und daß dieſe Abſtoßung hauptſächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird alſo durch dieſe Verſuche bewieſen, daß die verſchiedenen unterſuchten Flammen ſich diamagnetiſch verhalten und zwar, daß ſie in höherem Grade diamagnetiſch ſind als die umgebende Luft.

In der Flamme einer *Talg-*, *Stearin-* oder *Wachskerze* findet ſich glühende fein zertheilte Kohle, in der Phosphorflamme findet ſich glühende feſte Phosphorſäure vor, und dieſen Körpern könnte man die beobachtete Abſtoßung der entſprechenden Flammen zuſchreiben; allein auch die Flammen des *Waſſerſtoffgaſes*, des *Alkohols*, des *Schwefels* zeigen dieſelben Erſcheinungen, und in dieſen Flammen befinden ſich doch keine feſten glühenden Körper, ſondern nur Waſſerdampf, Kohlenſäure und ſchwefelige Säure, welche im glühenden Zuſtande ſämmtlich ſtärker diamagnetiſch ſind als Luft.

Diamagnetismus der Gaſe. Es ließ ſich wohl erwarten, daß die 271
hohe Temperatur der in der Flamme glühenden Gaſe einen weſentlichen Antheil an dem ſtarken Diamagnetismus hat, den ſie zeigen; um dieſen Einfluß der Temperatur ganz rein zu haben, ſtellte *Faraday* folgenden Verſuch an, welcher ſich mit den ſogleich zu beſprechenden weiteren Verſuchen über den Diamagnetismus der Gaſe in dem bereits citirten Aufſatze beſchrieben findet. (*Pogg.* Ann. LXXIII, 256.)

Eine kleine Spirale von dünnem Platindraht war mit ihren beiden Enden an zwei dickere Kupferdrähte befeſtigt, ſo daß ſie durch den Strom einer *Volta*'ſchen Batterie in's Glühen verſetzt werden konnte. Auf dieſe Weiſe war die brennende Kerze durch eine glühende Spirale erſetzt, welche einen ſtark erhitzten und zugleich chemiſch unveränderten Luftſtrom gab. Als der Schraubendraht gerade unter die axiale Linie geſtellt ward, ſtieg die erhitzte Luft frei zwiſchen den Polen empor, wie ſich dies beim Dar-

überhalten eines Thermometers oder eines Fingers oder eines Papiers, welches verkohlt wurde, ergab. Sobald aber der Magnet in Thätigkeit geſetzt wurde, theilte ſich die heiße Luft in zwei Ströme, die an den beiden Seiten der axialen Linie emporſtiegen; allein zwiſchen den Polen bildete ſich ein niederſinkender Strom, der hinabging zum Schraubendraht und zur heißen Luft, welche ſeitwärts aufſtieg.

Die erhitzte Luft iſt alſo ſtärker diamagnetiſch, als Luft von gewöhnli- cher Temperatur. Ebenſo zeigte ſich Luft von gewöhnlicher Temperatur diamagnetiſch gegen ſolche, welche ſtärker erkaltet war.

Um das Verhalten verſchiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, ſchlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand ſich in einer Woulf'ſchen Flaſche. In die eine Oeffnung derſelben wurde eine faſt bis zum Boden der Flaſche hinabragende Röhre befeſtigt und durch dieſe wurde das Waſ- ſer eingegoſſen, welches das Gas austreiben ſollte. Der Zufluß des Waſ- ſers war ſo regulirt, daß in der Minute 12 Cubikzoll Waſſer hier ein-, alſo ebenſo viel Gas durch die andere Oeffnung ausſtrömte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausſtrö- men ſollte. Die Ausſtrömungsöffnung hatte ungefähr $1/8$ Zoll Durch- meſſer; ſie befand ſich unter den Polſpitzen, wenn man mit einem leich- teren, über den Polſpitzen, wenn man mit einem ſchwereren Gas experi- mentirte, ſo daß ein in der Mitte zwiſchen den Polſpitzen aufſteigender oder niederſinkender Gasſtrom hervorgebracht wurde.

In der Ausſtrömungsröhre befand ſich ein Stück Fließpapier, welches mit concentrirter Salzſäure befeuchtet war, ſo daß das ausſtrömende Gas immer etwas Salzſäure mit ſich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufſteigende oder niederſinkende Gasſäule nimmt, verfuhr Fa- raday in folgender Weiſe: Ueber oder unter dem Mittelpunkt der Li- nie, welche die beiden Polſpitzen verbindet, war eine an beiden Enden of- fene Glasröhre, ſo lang und ſo dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derſelben, ſo alſo, daß die Ebene, welche die Axen dieſer drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial ſteht. Jede dieſer Röhren enthielt ein Stück Fließpapier, wel- ches in Ammoniakflüſſigkeit getaucht war, ſo daß Nebel entſtehen mußten, wenn das ſalzſäurehaltige Gas durch eine ſolche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, ſo ging es durch die mittlere Röhre; erſchien es aber nach Schließung der Kette in den Seitenröhren, ſo war das ein Zeichen, daß es diamagnetiſch gegen Luft iſt.

In dieſer Weiſe geprüft, zeigten ſich diamagnetiſch: Stickſtoff (ſchwach), Waſſerſtoff, Kohlenſäure, Kohlenoxydgas, Stickſtoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwaſſerſtoffſäure, Jodwaſſerſtoffſäure, Am-

moniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Sauerſtoff zeigte ſich weniger diamagnetiſch als Luft. — Stickſtoffoxyd und ſalpeterigſaures Gas gaben keine entſcheidenden Reſultate.

Faraday änderte nun den Verſuch dahin ab, daß er den Verſuchsraum gegen die äußere Luft abſperrte und ihn mit Kohlenſäure, mit Steinkohlengas oder mit Waſſerſtoffgas füllte, ſo daß die zu unterſuchenden Gaſe nicht in Luft, ſondern in Kohlenſäure, Steinkohlengas oder Waſſerſtoffgas ausſtrömten.

In *Kohlenſäure* ging Sauerſtoff zur Magnetaxe; Stickſtoff, Waſſerſtoff, Steinkohlengas, ölbildendes Gas, Salzſäure und Ammoniak waren in Kohlenſäure diamagnetiſch.

In *Steinkohlengas* waren magnetiſch: Luft, Sauerſtoff, Stickſtoff; diamagnetiſch waren: ölbildendes Gas, Kohlenoxyd u. ſ. w.

In *Waſſerſtoffgas* waren magnetiſch: Luft, Sauerſtoff; diamagnetiſch waren Stickſtoff, Ammoniak u. ſ. w.

Am Schluſſe ſeiner Abhandlung Seite 579 beſchreibt *Plücker* noch folgenden intereſſanten Verſuch: Zwei Halbanker wurden ſo auf die Pole gelegt, daß ſie mit ihren halbkreisförmigen Enden in kürzeſter Entfernung noch 5^{mm} von einander abſtanden; zwiſchen ihnen befand ſich ein Gefäß von dünnem Meſſingblech, welches möglichſt genau, und nur noch einen kleinen Spielraum übriglaſſend, zwiſchen die beiden Anker paßt. Das Gefäß war 41^{mm} hoch, nach äquatorialer Richtung 93^{mm} lang, nach axialer Richtung in der Mitte 4,5, an den Enden 40^{mm} breit. Es war überall luftdicht verſchloſſen und nur an einer Seite war eine Glasröhre von 1^{mm} Durchmeſſer eingelaſſen. Nachdem das Gefäß die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hatte, wurde es durch Berührung mit der Hand ein wenig erwärmt, und dann, um die innere Luft abzuſperren, ein Alkoholtropfen vor die Oeffnung der Röhre gebracht. Beim Fortnehmen der Hand trat der Tropfen in die Röhre und kam in der Nähe des Gefäßes zur Ruhe. Dann wurde der Magnetismus durch Schließen einer Kette von 12 *Grove*'ſchen Elementen hervorgerufen und in demſelben Momente der Alkoholtropfen 3^{mm} nach der Oeffnung der Röhre hin fortgeſtoßen, und wenn dann, nachdem er nach einiger Zeit zur Ruhe gekommen war, die Kette wieder geöffnet wurde, kehrte er genau zur urſprünglichen Lage zurück. *Die Luft war alſo in Folge diamagnetiſcher Abſtoßung durch den Elektromagneten ausgedehnt worden und hatte ſich, mit dem Verſchwinden des Magnetismus, wieder auf das urſprüngliche Volumen zurückgezogen.*

Einwirkung von Magnetpolen auf Flüſſigkeiten. Wenn Maſ- 272
ſen von feinen Eiſenfeilſpähnen über die Pole eines Magneten gebracht

werden, ſo bilden ſie, weil ſie von den Polen angezogen werden, Anhäufungen, die nach der Form und Entfernung der Pole verſchiedene Configurationen annehmen. In entſprechender Weiſe müſſen auch magnetiſche Flüſſigkeiten afficirt werden. Von dieſem Geſichtspunkte ausgehend, brachte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 565) verſchiedene Flüſſigkeiten in einem Uhrglaſe über die Pole des Elektomagneten und die beobachteten Erſcheinungen entſprachen ganz ſeinen Erwartungen.

Zuerſt experimentirte er mit einer ziemlich concentrirten Auflöſung von Eiſenchlorid; in einem Uhrglas, in welchem ſie urſprünglich einen Kreis von 25^{mm} Durchmeſſer bildete, wurde die Löſung auf den Zwiſchenraum zwiſchen den beiden auf die Pole aufgelegten Halbankern gebracht. Dieſe Halbanker waren an den einander zugekehrten Seiten etwas abgerundet; in den Figuren 268 und 269 bezeichnen die mit größeren Radien beſchriebenen beiden Kreisbogen die oberen gekrümmten Kanten der Halbanker.

Fig. 268.

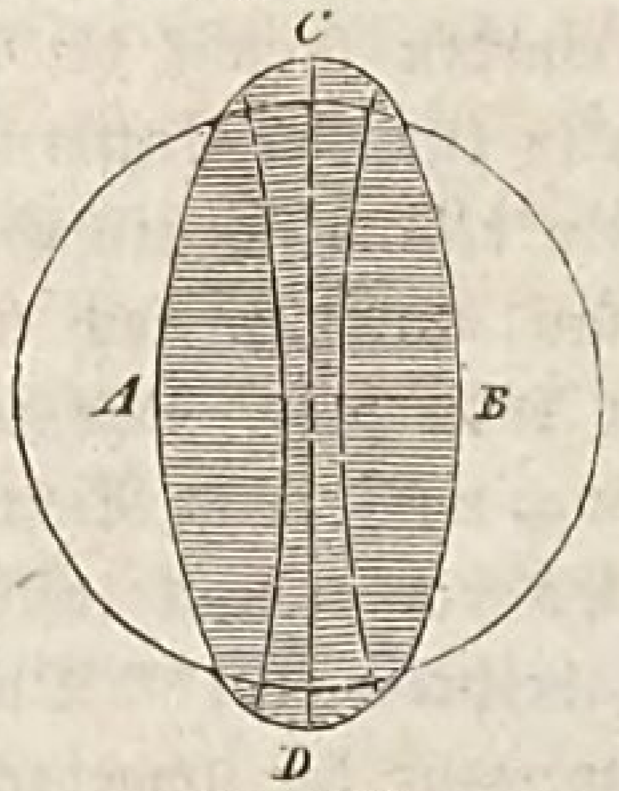


Fig. 269.

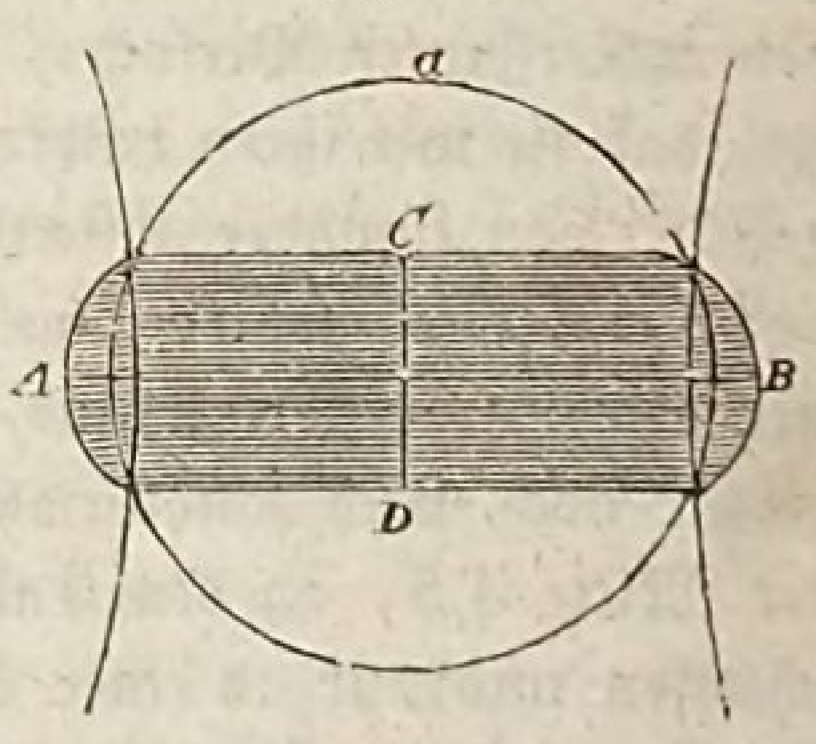


Fig. 270.

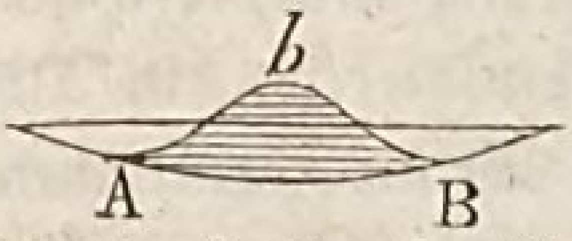
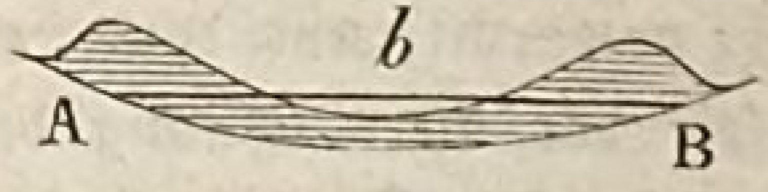


Fig. 271.



Als die Halbanker bis auf 2,5^{mm} genähert waren, nahm die urſprünglich kreisförmige Maſſe der Löſung nach Schließung der Kette die elliptiſche Geſtalt *ABCD* Fig. 268 an; die Axen dieſer Ellipſe betrugen 30,5 und 13 Millimeter. Gleichzeitig ging auch die horizontale Oberfläche verloren; ſie bildet in der äquatorialen Ebene einen Bergrücken, deſſen axialen Querſchnitt man in Fig. 270 ſieht.

Als die Halbanker bis auf 23 Millimeter entfernt wurden, nahm die Flüſſigkeit die Geſtalt Fig. 269 an; Fig. 271 zeigt den entſprechenden axialen Durchſchnitt.

Plücker beſchreibt die Erſcheinung auch noch für einige andere Entfernungen der Halbanker; ich habe hier nur die charakteriſtiſchſten ausgewählt.

Dieſe Erſcheinungen erklären ſich ganz einfach aus dem Umſtande, daß die magnetiſche Flüſſigkeit ſich an den Stellen anzuhäufen ſtrebt, wo die

magnetiſche Wirkung am kräftigſten auftritt, alſo über den Kanten der Halbaxen.

Eine Löſung von Eiſenchlorür zeigte ſich ſchwächer magnetiſch, noch weniger eine ſolche von Eiſenvitriol. Eine Löſung von ſalpeterſaurem Nickeloxyd iſt ſtärker magnetiſch als die Löſung des Eiſenvitriols.

Dieſe Verſuche wurden mit dem großen Elektromagneten angeſtellt, welcher durch den Strom von zehn Grove'ſchen Elementen erregt war.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetiſche Flüſſigkeiten denſelben Verfahren. Als die Anker bis auf 2,5^{mm} genähert waren, dehnte ſich die Flüſſigkeit nach der axialen Richtung aus, während ſie ſich nach der äquatorialen zuſammenzog. Oberhalb der Mitte zwiſchen den beiden Halbankern bildete ſich ſtatt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene ſich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetiſchen Flüſſigkeiten zeigt ſich ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch ſind die Wirkungen ſchwächer als bei magnetiſchen Flüſſigkeiten.

Waren die Halbanker 2 bis 4 Millimeter weit von einander entfernt, ſo zeigte ſich keine einzige der von Plücker unterſuchten Flüſſigkeiten indifferent. Als diamagnetiſch wurden auf dieſe Weiſe unter anderen erkannt: Waſſer, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelſäure, Salpeterſäure, Salzſäure, Ammoniakflüſſigkeit, Schwefelkohlenſtoff, fette und ätheriſche Oele, Löſungen von ſalpeterſaurem Wismuth, Kochſalz, Salpeter, Glauberſalz; ferner Milch, Blut und namentlich Löſungen von gelbem und rothem Blutlaugenſalz.

Stärkere Wirkung als bei Anwendung eines Uhrglaſes erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüſſigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3^{mm} von einander entfernten Halbanker legt.

Intenſitätsbeſtimmung magnetiſcher und diamagnetiſcher 273
Kräfte. Die Größe der Anziehung, welche magnetiſche Flüſſigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weiſe gemeſſen (Pogg. Ann. LXXIV, 321): Zur Aufnahme der Flüſſigkeit dient ein Uhrglas mit abgeſchliffenem Rande; es wird bis über dieſen Rand mit der Flüſſigkeit gefüllt und dann dieſelbe mit einem als Deckel dienenden matten Glaſe abgeſtrichen, ſo daß man ſicher iſt, daß die eingeſchloſſene Flüſſigkeit bei gleicher Form ſtets daſſelbe Volumen einnimmt.

Um die Stärke der Anziehung zu beſtimmen, wird das Uhrglas mit ſeinem Inhalte und ſeinem Deckel in einen dünnen Ring von Meſſing gebracht, der an drei etwa 200^{mm} langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein iſt, um 1 Milligramm anzugeben, und an der, außer der Axe des Wagbalkens, kein Eiſen ſich befindet. Um die

Wirkung bei ſchwachen Kräften zu verſtärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, ſondern es werden die beiden Halbanker, welche auch zu den in den vorigen Nummern beſchriebenen Verſuchen dienten, ſo auf die Pole gelegt, daß die abgerundeten Enden derſelben noch 6^{mm} von einander abſtanden: die Wage wurde genau ſo adjuſtirt, daß das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt iſt, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit ſeinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureißen, wird auf die Wagſchale der anderen Seite feines Bleiſchrot und dann feiner Sand aufgelegt. Das Gewicht des zugelegten Schrotes oder Sandes iſt das Maaß für die jedesmalige magnetiſche Kraft.

Das leere Uhrglas ſelbſt nebſt dem Meſſingringe zeigte ſich magnetiſch; als der Elektromagnet durch 6 Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0,4 Gramm angezogen.

Als das Uhrglas mit Waſſer gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch 0,28 Gramm. Die diamagnetiſche Abſtoßung des im Uhrglaſe eingeſchloſſenen Waſſers beträgt alſo 0,12 Gramm.

Nun bereitete Plücker vier Löſungen von Eiſenchlorür, deren Salzgehalt ſich vertheilt wie

$$8 : 4 : 2 : 1.$$

Die zum Abziehen nöthigen Gewichte waren für

das Uhrglas mit der Löſung	Nro. 1 . . .	3,94 Gramm
» » » » »	Nro. 2 . . .	2,14 »
» » » » »	Nro. 3 . . .	1,23 »
» » » » »	Nro. 4 . . .	0,72 »

Dieſe Zahlen geben aber nicht rein die Anziehung des Eiſenchlorürs; um dieſe zu erhalten, muß man die Anziehung des Glaſes ſelbſt und die diamagnetiſche Abſtoßung des Waſſers in Rechnung bringen. Betrachten wir die Löſung Nro 1 als die urſprüngliche magnetiſche Subſtanz, ſo kommen in den folgenden Löſungen $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$ des ganzen Volums an Waſſer hinzu, und die entſprechenden diamagnetiſchen Abſtoßungen ſind, bei der gleichmäßigen Vertheilung des Waſſers durch den ganzen Raum, hiernach die folgenden

0,06 Gramm, 0,09 Gramm, 0,105 Gramm.

Somit ergeben ſich die folgenden Zahlen für die Anziehung der urſprünglichen Eiſenchlorürlöſung

in Nro. 1	$3{,}94^{gr.}$	— 0,$40^{gr.}$	. . . . . .		= $3{,}54^{gr.}$
» Nro. 2	2,14	— 0,40	+ $0{,}06^{gr.}$	. .	= 1,80
» Nro. 3	1,23	— 0,40	+ 0,09	. .	= 0,920
» Nro. 4	0,72	— 0,40	+ 0,105	. .	= 0,425.

Die Zahlen der letzten Columne verhalten ſich in der That ſehr nahe wie 8 : 4 : 2 : 1, dieſe Verſuche zeigen alſo, daß die Anziehung der Eiſenchlorürlöſung dem Gehalte an Eiſenchlorür proportional iſt.

Ganz ähnliche Reſultate wurden mit fein zertheiltem Eiſen erhalten, welches gleichmäßig in friſchem Schweineſchmalz vertheilt war. Es wurden fünf verſchiedene Gemenge gemacht, indem

1,6gr. 0,8gr. 0,4gr. 0,2gr. 0,1gr.

des fein zertheilten Eiſens mit 25 Gramm Schweineſchmalz in einem Mörſer zu einer für das Auge homogenen Maſſe verrieben wurden.

Das Uhrglas mit reinem Schweineſchmalz gefüllt, wurde mit einer Kraft von 0,25 Grammen angezogen. Dann wurde das Uhrglas nach einander mit jedem der fünf Gemenge angefüllt, das Gewicht des Gemenges im Uhrglaſe (woraus die Menge des in demſelben befindlichen Eiſens ſich berechnen läßt) und endlich das zum Abziehen des Uhrglaſes nöthige Gewicht beſtimmt. Es ergaben ſich hierbei die folgenden Reſultate:

	Gewicht des Gemenges.	Eiſenmenge.	Anziehung.
Nro. 1	10,70 Gramm	0,6848 Gramm	259,95 Gramm
Nro. 2	10,65 »	0,3408 »	133,60 »
Nro. 3	10,15 »	0,1624 »	64,73 »
Nro. 4	10,35 »	0,0828 »	34,65 »
Nro. 5	10,15 »	0,0406 »	15,95 »

Die Zahlen der letzten Verticalreihe geben die Anziehung des Eiſens in den verſchiedenen Schmalzgemengen; es ſind die Gewichte, welche zum Abreißen des Uhrglaſes erforderlich ſind, vermindert um 0,25 Gramm, wobei, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, angenommen worden iſt, daß die Menge des diamagnetiſchen Schmalzes überall dieſelbe geblieben ſey.

Wir ſehen, daß auch hier die Anziehung ſehr nahe der Menge des metalliſchen Eiſens proportional iſt, welche in dem Innern des Uhrglaſes gleichförmig verbreitet iſt.

Nun ging Plücker zur Vergleichung des Magnetismus verſchiedener Subſtanzen über; ſie wurden theils in Löſung, theils in Pulverform in das Uhrglas gebracht und dann auf die angegebene Weiſe mit ihnen verfahren. Die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt:

	A	*B*	*C*	*D*
Salpeterſ. Eiſenoxyd. — Löſung	14,55 gr.	1,212gr.	2,502gr.	2,064gr.
Salzſaures Eiſenoxyd »	16,475	2,213	8,240	3,723
Schwefelſ. Eiſenoxyd »	18,25	2,243	5,335	2,379
Salzſaures Eiſenoxydul »	16,535	2,825	7,095	2,501
Schwefelſ. Eiſenoxydul »	—	0,445	1,350	3,034
Schmalzmiſchung 50 : 1 »	8,225	0,161	82,370	510,740
Eiſenoxyd I. gepulvert	12,188	8,532	31,210	3,658
Eiſenoxyd II. »	14,825	10,377	21,690	2,090
Rotheiſenſtein »	28,55	19,985	19,596	0,981
Eiſenglanz »	33,72	23,604	91,755	3,887
Eiſenoxydhydrat »	16,50	8,750	13,238	1,513
Künſtlicher Blutſtein »	12,45	7,708	9,618	1,235
Schwefelarſen »	25,22	11,770	19,417	1,650
Nickeloxydul »	14,65	11,535	2,630	0,228
Nickeloxydulhydrat »	11,125	6,574	6,055	0,921
Schmalzmiſchung 25 : 1 . . .	10,850	—	210,866	—
1 Thl. Magneteiſenſtein 25 Thle. Schmalz	11,00	—	86,135	—
Manganoxydhydrat, gepulvert	23,901	—	8,470	—
Manganoxyd »	22,869	—	18,470	—

Die unter dem Strich ſtehenden Zahlen gehören einer anderen Verſuchsreihe an.

Die Columne unter *A* enthält das Gewicht der unterſuchten Subſtanz, unter *B* findet ſich das Gewicht des in der unterſuchten Maſſe enthaltenen Eiſens oder Nickels; die mit *C* überſchriebene Columne enthält die Größe der beobachteten magnetiſchen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter *B* in die unter *C* ſtehenden, ſo erhält man die letzte Verticalreihe, welche alſo angiebt, wie groß die Anziehung geweſen ſeyn würde, wenn bei gleichmäßiger Vertheilung im Innern des Uhrglaſes der Eiſen- (oder Nickel-) Gehalt der Subſtanz gerade 1 Gramm betragen hätte.

Wir ſehen daraus, daß bei gleichem Eiſengehalt die magnetiſche Anziehung verſchiedener Eiſenverbindungen ſehr verſchieden iſt, daß die magnetiſchen Eigenſchaften des Eiſens in den meiſten ſeiner Verbindungen außerordentlich geſchwächt erſcheinen. Bezeichnen wir die magnetiſche Anziehung

des metalliſchen Eiſens mit 100,000, ſo iſt die Anziehung, welche unter gleichen Umſtänden die gleiche Menge Eiſen in verſchiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eiſen metalliſch	100000
» im Oxyd I.	714
» » Oxyd II.	409
» » Rotheiſenſtein	191
» » Eiſenglanz	761
» » Eiſenoxydhydrat	296
» » Blutſtein	240
» » Schwefelkies	321
» in der Löſung von ſalpeterſ. Eiſenoxyd	410
» » » » » ſalzſaurem »	737
» » » » » ſchwefelſ. »	474
» » » » » ſalzſaurem Eiſenoxydul	490
» » » » » ſchwefelſ. »	594

Die Ungleichheit der Zahlen, welche für die beiden Verſuche mit Eiſenoxyd erhalten wurden, rührt wohl daher, daß ſie nicht ganz rein waren, daß namentlich das Oxyd Nro. 1 noch Oxydul enthielt.

Man ſieht aus dieſer Zuſammenſtellung, wie ſehr die magnetiſchen Eigenſchaften des Eiſens abnehmen, wenn dieſes Metall mit anderen Körpern chemiſche Verbindungen eingeht.

Eine einzige Eiſenverbindung zeigt einen ſtärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eiſens mit 100,000, ſo iſt der eines gleichen Gewichtes Magneteiſenſtein 40,227. Es iſt dies der Magneteiſenſtein, eine Verbindung von Eiſenoxyd mit Eiſenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der ſtarke Magnetismus dieſer Verbindung rührt höchſt wahrſcheinlich daher, daß das Eiſenoxydul in ſehr hohem Grade magnetiſch iſt. Das Eiſenoxydul ſelbſt konnte Plücker bisher noch nicht unterſuchen.

Eine auffallende Erſcheinung iſt es, daß das Nickeloxydulhydrat viel ſtärker magnetiſch iſt als das Nickeloxydul ſelbſt.

In den Salzlöſungen ſcheint durch das Hinzutreten der Säuren zu dem Oxyde der urſprüngliche Magnetismus des Oxyds nicht weiter geſchwächt zu werden.

Die Verſuche, welche Plücker anſtellte, um die Stärke des Diamagnetismus verſchiedener Subſtanzen zu vergleichen, gaben folgende Reſultate:

Anziehung

des leeren Uhrglaſes mit Deckel und Meſſingring	0,49gr.
des Uhrglaſes gefüllt mit deſtillirtem Waſſer . .	0,35
mit Alkohol	0,36
» Schwefeläther	0,36
» Löſung von gelbem Blutlaugenſalz	0,37
» » » rothem »	0,72
» Phosphor	0,24
» Schwefelblüthe	0,39
» Schwefelſäure	0,40
» geſchlagenem Ochſenblut	0,32
» Queckſilber	0,05
» Schwefelkohlenſtoff	0,31
» Salzſäure	0,33
» Salpeterſäure	0,39
» Terpentinöl	0,34

Daraus ergiebt ſich:

	Diamagnetiſche Abſtoßung.	Diamagnetismus bei gleichem Volum.	Diamagnetismus bei gleichem Gewicht.
Waſſer	0,14gr.	100	100
Alkohol (0,813)	0,13	93	114
Schwefeläther	0,13	93	127
Schwefelkohlenſtoff	0,18	129	102
Schwefelſäure	0,09	64	34
Salzſäure	0,16	114	102
Salpeterſäure	0,10	71	48
Ochſenblut	0,17	122,5	—
Gefällte Löſung von gelb. Blutlaugenſalz	0,12	86	70
Wismuthoxyd, gepulvert . . .	0,06	—	35
Schwefelblüthe	0,10	—	71
Terpentinöl	0,15	107	123
Queckſilber	0,44	314	23
Phosphor	0,25	172	100

Das gelbe Blutlaugenſalz zeigte ſich auch bei dieſen Verſuchen diamagnetiſch, das rothe dagegen war, den früheren Verſuchen entgegen, ſchwach magnetiſch.

Endlich ſtellte *Plücker* nach derſelben Methode auch Verſuche an, um den Einfluß der Temperatur auf die Stärke des Magnetismus und Diamagnetismus zu ermitteln.

Das Uhrglas wurde durch eine halbkugelförmige Schale von Meſſingblech erſetzt, dieſelbe zum Theil mit Sand gefüllt, ein kleines Stück Eiſenblech horizontal auf denſelben gelegt und dann noch eine 6 bis 8 Millimeter hohe Schicht Sand aufgeſchüttet. — Die Schale mit ihrem Inhalte wurde über einem Kohlenfeuer erhitzt und dann das zum Abreißen nöthige Gewicht beſtimmt; es betrug 153,7 Gramm. Während des Erkaltens nahm das zum Abreißen nöthige Gewicht allmälig zu; nach 25 Minuten betrug es 166,75 Gramm.

In ähnlicher Weiſe wurde Eiſenoxyd in einer Porcellanſchale unterſucht. Während der Erkaltung von 300° auf 30° C. nahm die zum Abreißen nöthige Kraft von 52,01 Gramm bis 69,61 Gramm zu.

Auch Nickeloxyd iſt bei höherer Temperatur ſchwächer magnetiſch als bei niedriger; doch iſt der Wachsthum des Magnetismus nicht der Temperaturabnahme proportional. Während die Temperatur von ungefähr 300° C. ausgehend ſank, nahm der Magnetismus anfangs nicht merklich zu, erſt bei größerer Temperaturerniedrigung begann eine raſchere Zunahme des Magnetismus.

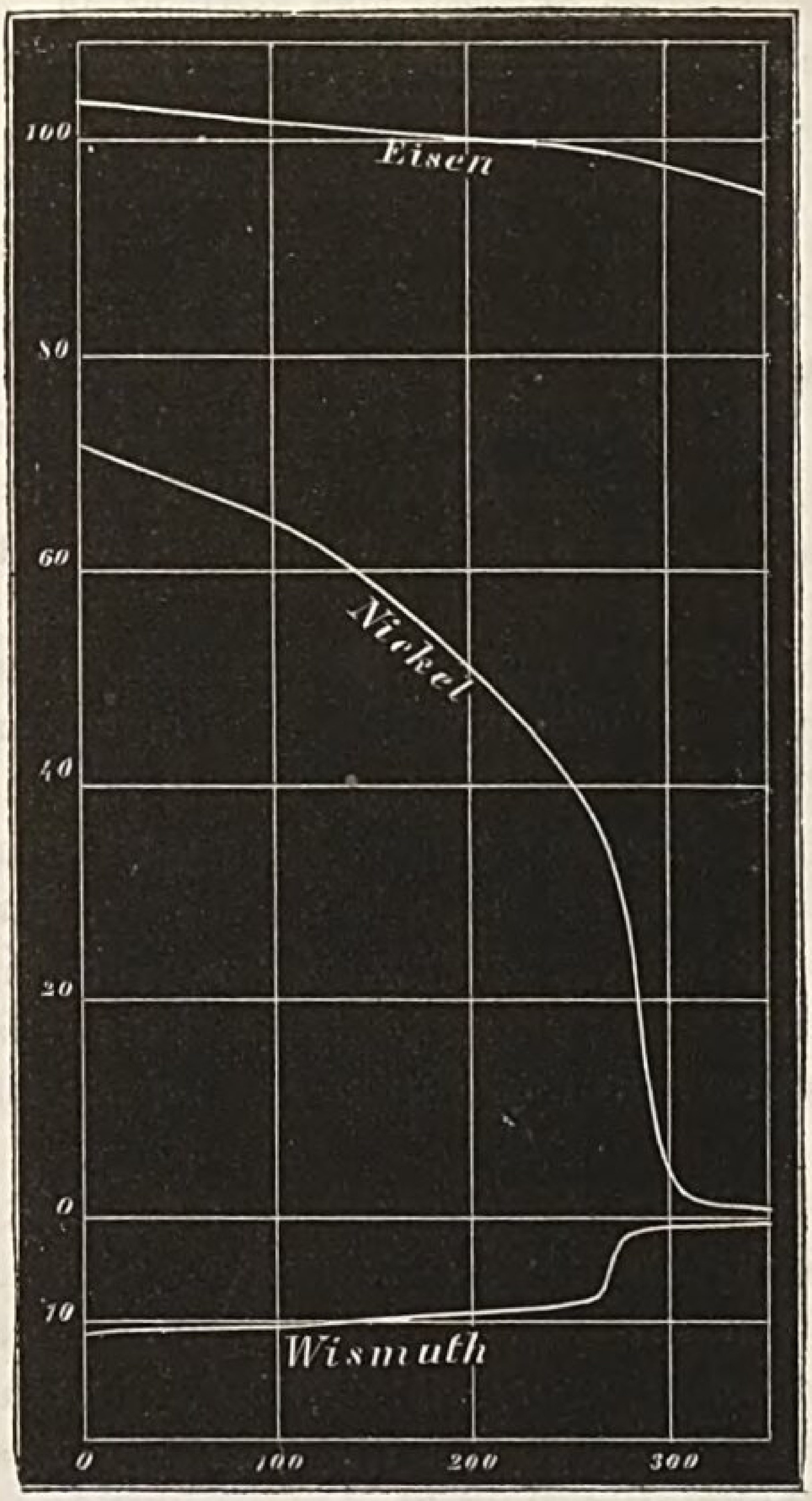
In ähnlicher Weiſe wurde auch der Einfluß der Temperatur auf die Stärke des *Diamagnetismus* geprüft. In derſelben Meſſingſchale, welche zu den Verſuchen mit dem Meſſingblech gedient hatte, wurden 116 Gramm *Wismuth* geſchmolzen und daſſelbe über die Temperatur des Schmelzpunktes hinaus erwärmt. Bei dem erſten Verſuche ergab ſich die Stärke des Diamagnetismus gleich 0,28 Gramm; mit ſinkender Temperatur nahm die Stärke des Diamagnetismus zu, und nach völliger Erkaltung war ſie auf 1,67 Gramm geſtiegen. *Hiernach ſteht alſo feſt, daß der Diamagnetismus des Wismuths mit ſteigender Temperatur abnimmt.*

Verſuche mit geſchmolzenem Stearin und geſchmolzenem Schwefel, deren Diamagnetismus gleichfalls während des Erkaltens beſtimmt wurde, gaben das Reſultat, daß der Diamagnetismus dieſer Körper innerhalb der hier ſtattfindenden Temperaturgrenzen keine merklichen Veränderungen erleidet.

Auch beim Queckſilber zeigte ſich keine merkliche Veränderung in der Stärke des Diamagnetismus, während derſelbe von 121° C. bis auf 33° C. erkaltete.

Später hat Plücker noch eine genauere Verſuchsreihe über dieſen Gegenſtand angeſtellt (Pogg. Ann. LXXV, 177). Zur Beobachtung der Temperatur wurde ein Thermometer in das Schälchen gebracht. In Fig. 272 ſind die Reſultate der Verſuche für Eiſen, Nickel und Wismuth graphiſch dargeſtellt. — Die Abſciſſen ſind der Temperatur, die Ordinaten ſind der durch Gramme gemeſſenen Anziehung proportional, die negativen Ordinaten entſprechen der diamagnetiſchen Abſtoßung. — Das Eiſen wurde in Form eines dünnen Blechs in Sand dem Verſuche ausgeſetzt. Das Nickel war pulverförmig. Um die Kurve für Wismuth deutlich zu machen, ſind die Ordinaten für dies Metall in 10fachem Maaßſtab aufgetragen als für die anderen Metalle. Bei 311° betrug die diamagnetiſche Abſtoßung des Wismuths 0,055 Grm., bei 149° betrug ſie 0,995 Gramm.

Fig. 272.



274 **Veränderlichkeit des Verhaltens gemiſchter Körper mit den Veränderungen der magnetiſchen Kraft.** Kaum waren Faraday's Verſuche über Diamagnetismus auf dem Continent bekannt geworden, ſo unternahm auch Plücker eine Reihe von Experimentalunterſuchungen über dieſen Gegenſtand; er entdeckte alsbald höchſt merkwürdige Modificationen, welche die magnetiſchen und diamagnetiſchen Erſcheinungen in doppelt brechenden Kryſtallen erleiden, ſo wie die auffallende Thatſache, daß ein und derſelbe Körper ſich bald magnetiſch, bald diamagnetiſch verhalten kann, je nachdem er ſich zwiſchen ſehr genäherten oder weiter entfernten Polſpitzen befindet. Die beiden erſten Aufſätze Plücker's, welche über ſeine diamagnetiſchen Arbeiten handeln, befinden ſich in Pog-

gendorff's Annalen (LXXII, 315, 351). Das Weſentlichſte ihres Inhaltes iſt bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd., S. 692) mitgetheilt worden.

Das eben erwähnte Uebergehen aus dem diamagnetiſchen in das magnetiſche Verhalten, findet, wenn es nicht durch Kryſtalliſationsverhältniſſe bedingt iſt, nur bei Körpern ſtatt, welche aus diamagnetiſchen und magnetiſchen Subſtanzen gemacht ſind.

Später zeigte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 617), daß eine Verſtärkung des Magnetiſmus in den Polſpitzen dieſelbe Wirkung habe wie eine Annäherung derſelben. Ein Stückchen Buchsbaumkohle, welches ſich bei größerer Entfernung der Pole magnetiſch, bei geringem Abſtande derſelben aber diamagnetiſch verhielt, wurde zwiſchen die Polſpitzen gebracht und deren Abſtand ſo regulirt, daß das Kohlenſtückchen ſich entſchieden axial ſtellte, wenn der Elektromagnet durch den Strom eines einzigen Grove'ſchen Elementes erregt ward. Als ſtatt deſſen zwei Elemente angewandt wurden, war es ſchwer zu beſtimmen, ob es ſich magnetiſch oder diamagnetiſch verhalte; bei drei Elementen ſtellte es ſich aber entſchieden äquatorial, und die diamagnetiſche Kraft nahm bei noch größerer Stromſtärke immer mehr zu.

Ein zweiter Verſuch mit einem anderen Kohlenſtückchen gab ein gleiches Reſultat.

Durch die Zunahme der Kraft der Magnetpole wird alſo bei unveränderter Entfernung der Magnetiſmus der Holzkohle in Diamagnetiſmus verwandelt.

Dieſe Verſuche zeigen, daß, wenn ein Körper bei wachſender Entfernung der Pole aus der äquatorialen in die axiale Lage übergeht, die Entfernung nicht als ſolche, ſondern nur inſofern in Betracht kommt, als mit der Entfernung von den Polen die Kraft des Elektromagneten abnimmt, daß bei wachſender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetiſmus in raſcherem Verhältniß zunimmt als der Magnetiſmus (Pogg. Ann. LXXIV, 363).

Es geht daraus hervor, daß man durch Miſchung zweier Subſtanzen, von denen die eine magnetiſch, die andere diamagnetiſch iſt, keinen Körper darſtellen kann, der ſich abſolut indifferent gegen den Magneten verhält, weil, wenn für eine gewiſſe Magnetkraft beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten, der Diamagnetiſmus bei wachſender, der Magnetiſmus bei abnehmender Kraft der Magnetpole zum Uebergewicht kommen wird.

Daß bei wachſender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetiſmus in raſcherem Verhältniß zunimmt als der Magnetiſmus, hat Plücker auch durch directe Meſſung dargethan. Als der Reihe nach der Elektro-

magnet durch 2, durch 3 und durch 10 Tröge erregt wurde, ergab ſich die Anziehung der bereits oben beſprochenen Meſſingſchale gleich

0,69^gr. — 1,13^gr. — 2,15^gr.

Es wurde nun ein 115^gr. ſchweres Stück Wismuth in die Schale gelegt und nun war die Anziehung

0,53^gr. — 0,71^gr. — 0,48^gr.,

wonach ſich für den Diamagnetismus des Wismuths

0,14^gr. — 0,42^gr. — 1,67^gr.

ergiebt; während alſo durch Steigerung der Kraft der Magnetpole der Magnetismus der Schale in Verhältniß von 1 zu 3 wuchs, iſt der Diamagnetismus des Wismuths um mehr als zehnmal ſtärker geworden.

Sehr ſchön wird der obige Satz auch durch folgende Verſuchsreihen Plücker's bewieſen (Pogg. Ann. LXXV, 417): Das ſchon früher beſprochene Uhrglas, welches, wie wir wiſſen, mit ſeinem Meſſingringe ſchwach magnetiſch iſt, wurde in gewohnter Weiſe über die genäherten Pole an den einen Arm der Wage angehängt und ein abgerundetes Stück Wismuth hineingelegt. Die Wage wurde nun durch Tariren ins Gleichgewicht gebracht. — Der Wagebalken konnte nach Belieben gehoben oder geſenkt werden, ſo daß, ohne ihn aus ſeiner Gleichgewichtslage herauszubringen, die Entfernung des Uhrglaſes von den Polen vergrößert und verkleinert werden konnte. Es wurde nun bei verſchiedener Entfernung des Uhrglaſes und bei verſchiedener Stromſtärke die Anziehung oder Abſtoßung des Uhrglaſes ſammt ſeinem Inhalt von Wismuth in der Weiſe beobachtet, daß man ermittelte, um wie viel Millimeter daſſelbe durch die Einwirkung der Magnetpole aus ſeiner Gleichgewichtslage heraus gehoben oder geſenkt werde; es ergaben ſich dabei folgende Reſultate:

I. Bei Berührung der Anker durch das Uhrglas.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	5,0^mm
» » »	2	»	0,5
» » »	1	»	keine merkliche Wirkung.

II. Das Uhrglas 1,5^mm über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	3,5^mm
» » »	4	»	2,25
» » »	3	»	1,5
» » »	2	»	0,5
» » »	1	Anziehung:	1,0

III. Das Uhrglas 3,5^mm über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	1,0^mm
» » »	4	Anziehung:	1,0
» » »	1	»	3,0

IV. Das Uhrglas 5,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	3,0^{mm}
» » »	1	»	3,25

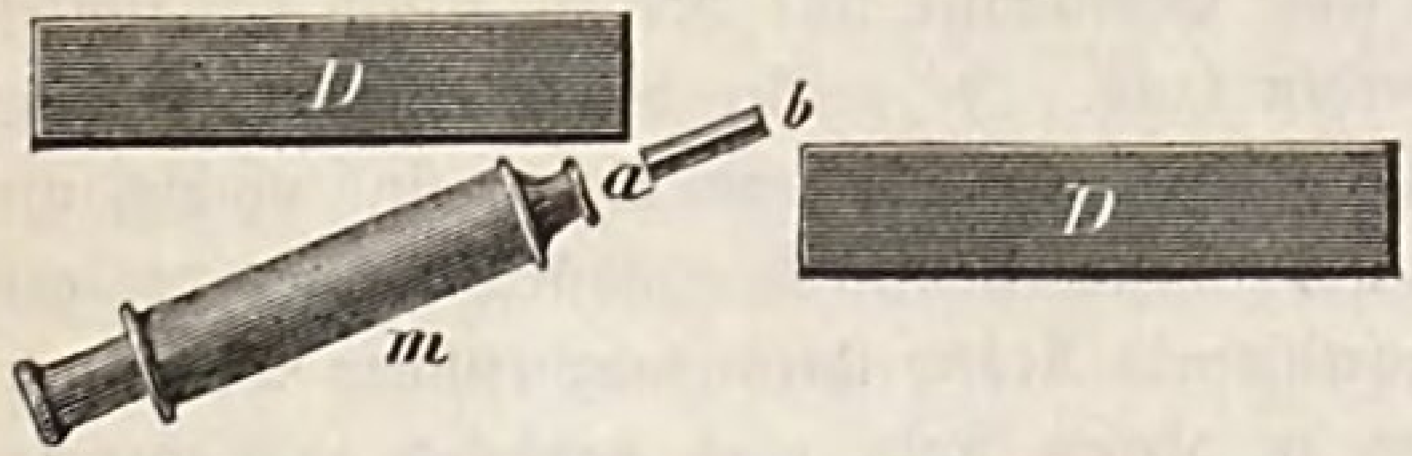
V. Das Uhrglas 8,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	5,0^{mm}
» » »	1	»	ebenſo.

E. Becquerel beſtreitet, daß die Zunahme des Diamagnetiſmus in einem anderen Verhältniß zum Wachsthum der Stromſtärke ſtehe als die des Magnetiſmus; er ſtützt ſich dabei auf folgende Verſuche (Ann. de Chim. et de Phys. sér. III. tom. XXVIII, 301).

Auf die Pole ſeines großen Elektromagneten waren prismatiſche Stücke von weichem Eiſen aufgelegt, deren obere Fläche ein längliches Rechteck von 3 Centimeter Breite bildet; auf dieſe Flächen ſind zwei Stäbchen *D* von weichem Eiſen aufgelegt, welche 3 Centimeter hoch und eben ſo breit ſind, und die ſich einander gegenüber ſtehen, wie man Fig. 273 ſieht. Zwiſchen den zugekehrten Enden dieſer Eiſenſtäbchen hängt an einem feinen Silberfaden ein Stäbchen der zu unterſuchenden Subſtanz, z. B. ein Wismuthſtäbchen von 25^{mm} Länge und 3^{mm} Durchmeſſer. Der Silberfaden iſt oben an einer Torſionsvorrichtung angebracht, durch welche das Stäbchen *ab* in die Fig. 273 bezeichnete Lage gebracht werden kann, während der Strom nicht durch die Windungen des Elektromagneten geht. In dieſer Stellung kann das Stäbchen durch ein ſeitlich angebrachtes Mikroſkop *m* beobachtet werden. Nun wird der Elektromagnet in Thätigkeit geſetzt, das Stäbchen wird abgeſtoßen und man muß die Torſionsvorrichtung um eine gewiſſe Anzahl von Graden drehen, um das Stäbchen wieder in ſeine vorige Lage zurückzubringen. Die Drehung des Fadens iſt nun ein Maaß für die Stärke der Abſtoßung. Mit einer Wismuthſtange machte Becquerel dieſe Meſſung bei verſchiedenen Stromſtärken, welche an einer Sinusbuſſole gemeſſen wurden. Es ergaben ſich folgende Reſultate, wobei zu bemerken iſt, daß das Wismuthſtäbchen nicht in Luft, ſondern in Waſſer hing.

Fig. 273.



Abſtoßung des Wismuths = *m*.	Ablenkung der Sinusbuſſole = *i*.	$sin.\ i^2$.	$\frac{m}{sin.\ i^2}$.
312,1°	40° 2′	0,4138	754
107,35	21 52	0,1387	774
32,1	11 45	0,0415	774

Man ſieht aus dieſer Tabelle, daß ſich die Abſtoßung des Wismuths verhält wie das Quadrat der Stromſtärke. Da nun bekanntlich (wenigſtens bis zu gewiſſen Grenzen) die Anziehung eines Eiſenſtabes durch einen Magneten ebenfalls dem Quadrate der magnetiſchen Kraft der Pole proportional iſt, ſo ſchließt Becquerel, daß der Magnetismus und der Diamagnetismus in gleicher Weiſe von der Stärke der Magnetpole abhängen, daß ſie alſo bei wachſender Stromſtärke ſtets in gleichem Verhältniß zunehmen müſſen.

Gleiche Reſultate erhielt Becquerel auch mit einem Schwefelſtäbchen.

Die Zuverläſſigkeit der Verſuche Becquerel's iſt wohl kaum in Zweifel zu ziehen, allein eben ſo wenig liegen Gründe vor, die Plücker'ſchen Reſultate für unrichtig zu halten. Der ſcheinbare Widerſpruch läßt ſich wohl auf folgende Weiſe löſen.

Durch meine Verſuche über die Geſetze des Elektromagnetismus habe ich dargethan, daß eine jede Eiſenmaſſe nur bis zu einem beſtimmten Maximum magnetiſirt werden kann. Je größer die Maſſe des zu magnetiſirenden Eiſens iſt, deſto größere magnetiſirende Kräfte ſind nöthig, um dieſem Maximum nahe zu kommen; kleine Eiſenmaſſen können dagegen ſchon durch geringe magnetiſirende Kräfte ihrem magnetiſchen Maximum nahe gebracht werden, und in dieſem Falle wird natürlich auch eine bedeutende Verſtärkung der magnetiſirenden Kraft kaum eine merkliche Vermehrung des Magnetismus in den kleinen Eiſenmaſſen zur Folge haben. — Bedenken wir nun, welche geringe Maſſen magnetiſcher Subſtanzen in den Körpern vertheilt ſind, mit welchen Plücker experimentirte, ſo dürfen wir wohl annehmen, daß dieſelben ſchon bei geringerer Stromſtärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetiſirt ſind, daß alſo die Variationen der Stromſtärke keinen bedeutenden Einfluß mehr auf ſie ausüben können, während die ungleich größere Maſſe der diamagnetiſchen Subſtanzen noch viel weiter von ihrem Maximum diamagnetiſcher Erregung entfernt ſind, weshalb denn auch der Diamagnetismus der Subſtanz noch mehr zu der Stromſtärke proportional wachſen kann.

275 **Einfluß der Umgebung auf magnetiſche und diamagnetiſche Wirkungen.** Schon Faraday hat nachgewieſen, daß das Verhalten eines Körpers zwiſchen den Magnetpolen weſentlich davon abhängt, in welches Fluidum er eingetaucht iſt; ein Körper, welcher ſich in Luft axial ſtellt, kann unter Umſtänden in einer Löſung von Eiſenvitriol die äquatoriale Stellung annehmen. Becquerel theilt in der eben beſprochenen Abhandlung auch eine Reihe hierher gehöriger Verſuche mit; er beſtimmte nämlich mittelſt der Drehwage die Abſtoßung irgend eines diamagnetiſchen Stäbchens, wenn es in verſchiedene Flüſſigkeiten eingetaucht iſt. Mit einem Schwefelſtäbchen von 25^{mm} Länge erhielt er folgende Reſultate:

Abſtoßung des Schwefelſtäbchens			Ablenkung der Sinusbouſſole.
in Luft	—	37°	. . . 39°
» Waſſer	—	4	. . . 40
» Löſung von Chlormagneſium	+	2,5	. . . 38
» conc. Löſung von Eiſenchlorür	—	1844	. . . 36
» Löſung v. ſchwefelſ. Nickeloxyd	—	41	. . . 23

Die abſtoßende Kraft iſt durch die Drehung des Silberfadens gemeſſen; das Zeichen — bezeichnet Abſtoßung, + dagegen bezeichnet Anziehung.

Das Geſetz der Modification, welches die magnetiſche Anziehung oder Abſtoßung durch das Fluidum erleidet, in welches der zu prüfende Körper eingetaucht iſt, wird von *Plücker* in folgender Weiſe formulirt (*Pogg.* Ann. LXXVII, 580):

Die Anziehung eines magnetiſchen Körpers, der in eine magnetiſche oder diamagnetiſche Flüſſigkeit eingetaucht wird, nimmt gerade ſo viel ab oder zu, als die magnetiſche Anziehung oder Abſtoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüſſigkeit vor dem Entweichen betrug. Die Abſtoßung eines in dieſelbe Flüſſigkeit eingetauchten diamagnetiſchen Körpers nimmt gerade um ſo viel zu oder ab, als die magnetiſche Anziehung oder diamagnetiſche Abſtoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüſſigkeit betrug.

Zur Beſtätigung dieſes Verhaltens führt *Plücker* noch den folgenden Verſuch an, daß ein gegen den Magneten wenig empfindliches Aräometer (z. B. ein ſolches, welches mit einer dünnen, zum Theil mit Queckſilber gefüllten Glaskugel gebildet iſt) entſchieden ſteigt oder ſinkt, wenn es in eine Löſung von Eiſenchlorid oder Eiſenvitriol oberhalb oder unterhalb der beiden genäherten Pole eines ſtarken Elektromagneten gebracht wird. Eine entgegengeſetzte Wirkung tritt in diamagnetiſchen Flüſſigkeiten ein.

Becquerel gelangt nun, auf dieſe Erſcheinungen bauend, zu einer eigenthümlichen Theorie des Diamagnetismus. Er läßt den Diamagnetismus als ſolchen gar nicht mehr gelten, ſondern nimmt an, daß *alle* Körper nur in ungleichem Maaße magnetiſch ſind; die Abſtoßung eines Körpers durch einen Magnetpol erfolgt dann, wenn er von einem noch ſtärker magnetiſchen Mittel umgeben iſt. Da nun aber ein Wismuthſtäbchen ſelbſt im Vacuum noch von den Magnetpolen abgeſtoßen wird, ſo iſt er zu der kühnen Hypotheſe genöthigt, *daß das Vacuum wenigſtens noch ſtärker magnetiſch ſey als das Wismuth*!!

Ich zweifle daran, daß dieſe Theorie viel Beifall unter den Phyſikern finden wird.

276 **Einfluß der Kryſtalliſation auf die diamagnetiſchen Erſcheinungen.** Die erſten hierher gehörigen Beobachtungen wurden von Plücker gemacht; ſie ſind der Hauptſache nach bereits in der 3ten Auflage meines Lehrbuchs der Phyſik (2ter Bd. S. 692) mitgetheilt worden; wir wollen hier nur noch die weitere Entwickelung des Gegenſtandes verfolgen.

An die erſten Beobachtungen Plücker's ſchließen ſich zunächſt die Unterſuchungen Faraday's über das Verhalten des kryſtalliſirten Wismuths an (Pogg. Ann. LXXVI, 144; Phil. Magaz. 1849. Jan. pag. 75). Er hatte an Wismuthſtäbchen, welche durch Gießen in Glasröhren gemacht worden waren, anomale Erſcheinungen wahrgenommen, welche er dem kryſtalliniſchen Zuſtande derſelben zuſchreiben zu müſſen glaubte.

Dies veranlaßte Faraday, Verſuche mit gut kryſtalliſirten Wismuthſtücken anzuſtellen, und es ergab ſich dabei, daß die Hauptſpaltungsrichtung ſich ſtets äquatorial zu ſtellen ſtrebt.

Nach Roſe's neueren Unterſuchungen gehört das Wismuth dem hexagonalen Kryſtallſyſtem an; was man früher für einen Würfel nahm, iſt ein Rhomboeder; unter den verſchiedenen Spaltungsrichtungen iſt eine beſonders ausgezeichnet und dieſe ſteht auf der kryſtallographiſchen Hauptaxe des Rhomboeders rechtwinklig. Nach Faraday's Verſuchen hat alſo die kryſtallographiſche Hauptaxe des Wismuthrhomboeders ein Streben, ſich axial zwiſchen die beiden Pole des Elektromagneten zu ſtellen. Dieſes Beſtreben macht ſich in der Weiſe geltend, daß eine Säule von kryſtalliſirtem Wismuth, deren Hauptſpaltungsfläche mit ihrer Baſis zuſammenfällt, ſich ſelbſt bei entſchieden vorherrſchenden Längendimenſionen axial ſtellt.

Faraday nennt die Richtung des kryſtalliſirten Wismuths, welche ſich axial zu ſtellen ſtrebt, die Magnekryſtallaxe.

Aehnliche Erſcheinungen beobachtete er beim kryſtalliſirten Antimon, Arſen u. ſ. w.

Plücker wiederholte dieſe Verſuche mit gleichem Erfolge (Pogg. Ann. LXXVI, 576).

Kryſtalle des regulären Syſtems haben keine von den anderen ausgezeichnete Spaltungsrichtung, bei ihnen kann ſich alſo auch keine Erſcheinung der Art zeigen, wie wir ſie oben betrachtet haben.

Plücker ließ geſchmolzenes Wismuth langſam zwiſchen den Magnetpolen kryſtalliſiren. Nach dem Erſtarren zeigte ſich, daß die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit entſchieden vorherrſchend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Eine Holzkohle wurde ſo ausgehöhlt, daß der innere Raum ungefähr 6^{mm} Durchmeſſer hatte und doppelt ſo lang war. In dieſe Höhlung wurde geſchmolzenes Wismuth gegoſſen, welches ungefähr nach einer Minute erſtarrte. Befand ſich das Wismuth während des Erſtarrens außer dem

Bereiche des Magneten, ſo zeigte das aus demſelben gebildete Stäbchen ſpäter keine magnekryſtalliſche Wirkung, es verhielt ſich rein diamagnetiſch und ſtellte ſich äquatorial. War aber die Kohle ſo zwiſchen die Magnetpole geſtellt, daß das Wismuthſtäbchen während ſeiner Erkaltung eine axiale Stellung hatte, ſo ſtellte es ſich ſpäter an einem Seidenfaden aufgehängt gleichfalls axial. Es geht daraus hervor, daß eine Wismuthmaſſe, welche zwiſchen den Magnetpolen erſtarrt iſt, ſpäter an einem Faden aufgehängt, zwiſchen den Polen wieder dieſelbe Stellung einzunehmen ſtrebt, welche es während des Erkaltens hatte.

Theoretiſche Anſichten über das Verhalten der Kryſtalle 277
zwiſchen Magnetpolen. Nachdem *Plücker* das eigenthümliche Verhalten der Kryſtalle zwiſchen den Magnetpolen entdeckt hatte, ſuchte er es alsbald durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optiſchen Axen zu erklären.

In einem Briefe an *Faraday* formulirte *Plücker* das opto-magnetiſche Geſetz in folgender Weiſe: »Die optiſchen Axen werden durch die »Pole eines Magneten entweder *abgeſtoßen* oder *angezogen*, je nach »dem kryſtalliniſchen Gefüge der Kryſtalle. Iſt der Kryſtall ein *negativer*, »ſo findet *Abſtoßung* ſtatt; iſt er dagegen ein *poſitiver*, ſo erfolgt »*Anziehung*« (Phil. Mag. Vol. XXXIV, pag. 450. *Pogg.* Annalen LXXVII, 447).

Gegen dieſe Theorie ſind nun *Knoblauch* und *Tyndall* aufgetreten (*Pogg.* Ann. LXXIX, 233. Phil. Mag. XXXVI, 178). Zunächſt führen ſie einige Erſcheinungen an, welche mit *Plücker's* Anſicht unvereinbar ſind.

Aus 11 parallel mit der Axe geſchliffenen Kalkſpathplatten wurden kreisrunde Scheiben gemacht und dieſe horizontal aufgehangen. Zwiſchen den Polen des Elektromagneten ſtellten ſich fünf dieſer Platten ſo, daß die optiſche Axe in der That die äquatoriale Lage annahm; bei den übrigen ſechs Platten dagegen ſtellte ſich, der *Plücker'ſchen* Anſicht entgegen, die optiſche Axe entſchieden axial.

Um zu erfahren, ob die Maſſe dieſer Kryſtalle magnetiſch oder diamagnetiſch ſey, wurden ſie gepulvert und aus dem naſſen Pulver cylindriſche Stäbchen geformt. Nachdem dieſe wieder getrocknet waren, zeigten ſich diejenigen, welche aus den fünf erſten Kryſtallen gebildet waren, diamagnetiſch, die ſechs anderen Stäbchen dagegen ſtellten ſich axial, ſie waren alſo magnetiſch.

Am Schluſſe ihrer Abhandlung ſprechen nun *Knoblauch* und *Tyndall* ihre Anſicht dahin aus, daß die von ihnen am Kalkſpath beobachteten Erſcheinungen ſich darauf zurückführen laſſen, daß die diamagnetiſchen

Exemplare in der Spaltungsrichtung ſchwächer diamagnetiſch, die magnetiſchen in jener Richtung ſchwächer magnetiſch ſind.

Unterdeſſen hat jedoch Plücker ſelbſt ſeine Anſicht in zwei Abhandlungen modificirt, von denen die eine als Univerſitätsprogramm im Auguſt 1849 erſchien, während die zweite im December deſſelben Jahres der königl. niederländiſchen Societät übergeben wurde. — Auch ſeine Experimentaluntersuchungen hat Plücker in Gemeinſchaft mit Beer fortgeſetzt, und in einem Aufſatze »über die magnetiſchen Axen der Kryſtalle« (Pogg. Ann. LXXXI, 115) veröffentlicht. Der theoretiſche Standpunkt, welchen Plücker in dieſer Abhandlung einnimmt, iſt durch folgende Stelle bezeichnet:

»Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinſte »Theilchen eines Kryſtalles polar magnetiſch oder polar diamagnetiſch. Aber »die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach »einer veränderlichen Richtung, die bloß nach der Lage der Pole beſtimmt »wird, ſondern je nach der Kryſtallform nach einer oder mehr als einer »feſten Richtung. Solche Richtungen, die in dem Kryſtalle durch die Form »derſelben gegeben ſind, habe ich die magnetiſchen Axen des Kryſtalls »genannt.«

Kryſtalle des regulären Syſtems haben keine ſolche magnetiſche Axe.

Die optiſch einaxigen Kryſtalle haben eine magnetiſche Axe, welche mit der kryſtallographiſchen Hauptaxe (alſo auch mit der optiſchen) zuſammenfällt. Stellt ſich die magnetiſche Axe zwiſchen den Magnetpolen axial, ſo nennt Plücker den Kryſtall magnetiſch poſitiv; er nennt ihn magnetiſch negativ, wenn ſich die magnetiſche Axe zwiſchen den Magnetpolen äquatorial ſtellt.

Wenn aus einem magnetiſch einaxigen Kryſtall ein Cylinder gebildet iſt, deſſen Axe mit der magnetiſchen Axe zuſammenfällt, und wenn er dann ſo aufgehängt iſt, daß die magnetiſche Axe vertical ſteht, alſo die Umdrehungsaxe bildet, ſo zeigt der Kryſtall kein Beſtreben mehr, ſich zu richten. — Anders bei den optiſch zweiaxigen Kryſtallen; werden ſie ſo aufgehängt, daß eine der drei Fresnel'ſchen Elaſticitätsaxen die verticale Umdrehungsaxe bildet, ſo ſtellt ſich der Kryſtall ſo, daß eine der beiden übrigen Elaſticitätsaxen eine axiale, die andere eine äquatoriale Lage annimmt. Plücker erklärt dies durch die Annahme von zwei magnetiſchen Axen, welche ähnlich liegen wie die optiſchen Axen, und welche entweder angezogen oder abgeſtoßen werden, wonach dann die magnetiſch zweiaxigen Kryſtalle ebenfalls in poſitive und negative zu theilen ſind.

In demſelben Bande von Poggendorff's Annalen, welcher den eben beſprochenen Aufſatz Plücker's enthält, finden wir aber auch eine neue Arbeit von Knoblauch und Tyndall, welche den Gegenſtand in ihrer Richtung weiter verfolgt haben (Pogg. Ann. LXXXI, 481).

Zunächſt führen ſie einige Beobachtungen an, welche der Annahme Plücker's widerſprechen, welche derſelbe auch noch in ſeinem letzten Aufſatze noch zu behaupten ſcheint, daß ein optiſch poſitiver Kryſtall auch magnetiſch poſitiv, ein optiſch negativer auch magnetiſch negativ ſey. — Das gelbe Blutlaugenſalz z. B. iſt optiſch poſitiv; ſeine optiſche Axe (oder wenn man es als zweiaxig betrachtet, die Mittellinie der beiden ſehr nahe zuſammenfallenden Axen) wird äquatorial geſtellt.

Ganz eiſenfreier Kalkſpath iſt diamagnetiſch, die Richtung ſeiner optiſchen Axe wird äquatorial geſtellt. — Enthält aber der Kryſtall etwas iſomorphes kohlenſaures Eiſenoxydul, ſo ſtellt ſich die optiſche Axe axial, und dies um ſo ſtärker, je bedeutender der Gehalt an magnetiſcher Subſtanz wird. Mit ſehr großer Kraft ſtellt ſich die Axe des Rhomboeders von Spatheiſenſtein axial, in welchem die diamagnetiſchen Beſtandtheile gegen das kohlenſaure Eiſenoxydul faſt ganz verſchwinden. Noch weit kräftiger findet dieſe axiale Einſtellung der Rhomboederaxe beim Eiſenglanz ſtatt, indem der nach Oeffnen der Kette in den Magnetpolen zurückbleibende Magnetismus hinreicht, dieſe Einſtellung zu bewirken.

Knoblauch ſchließt daraus: daß diejenige Linie, welche bei einem rein diamagnetiſchen Kryſtall zwiſchen den Polen die äquatoriale Lage annimmt, mit deſto größerer Kraft in die axiale Stellung gedreht wird, je mehr die diamagnetiſchen Beſtandtheile des Kryſtalls durch iſomorphe magnetiſche erſetzt werden; und ferner:

daß dieſelbe Richtung, welche in einem rein diamagnetiſchen Kryſtall ſich ſenkrecht auf die Verbindungslinie der Magnetpole einſtellt, ſich bei einem rein magnetiſchen Körper von gleicher kryſtalliniſcher Structur den Polen zuwendet.

Um über die Art und Weiſe der magnetiſchen Wirkung in allen dieſen Fällen eine Vorſtellung zu gewinnen, wurden folgende Verſuche angeſtellt:

Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetiſchen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwaſſer ein vierkantiger Stab gebildet, ſo ſtellt ſich dieſer zwiſchen den Magnetpolen natürlich ſo, daß die Längenaxe äquatorial ſteht. Drückt man ihn in der Richtung ſeiner größeren Ausdehnung ſo weit zuſammen, daß das Parallelepiped in einen Würfel übergeht, ſo ſtellt ſich dieſelbe Richtung, welche vorher äquatorial war, wieder nach derſelben Richtung. Dies iſt ſelbſt dann noch der Fall, wenn die Zuſammendrückung in demſelben Sinne wie zuvor ſo weit fortgeſetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entſtanden iſt, ſo daß alſo die Ebene der Platte axial ſteht. Es tritt hier die Erſcheinung auf, daß eine rein diamagnetiſche unkryſtalliniſche Scheibe, deren jedes

Theilchen vom Magneten abgeſtoßen wird, ſich zwiſchen den Polen axial ſtellt. Dieſe Erſcheinung erklärt ſich durch die Annahme, daß die diamagnetiſche Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die materiellen Theile des Körpers einander näher gerückt worden ſind, größer iſt.

Ein nicht comprimirter Würfel derſelben Subſtanz zeigte keine richtende Kraft.

Wurde dem Mehle fein gepulvertes kohlenſaures Eiſenoxydul beigemiſcht, ſo ſtellte ſich ein aus dem Gemenge gebildeter Stab axial. Drückte man ihn auf die angegebene Weiſe zuſammen, ſo nahm die entſtehende Platte eine äquatoriale Lage an, die Richtung der Compreſſion blieb alſo axial. Derſelbe Verſuch ließ ſich mit reinem kohlenſauren Eiſenoxydul anſtellen. Wir ſehen hier den Fall eintreten, daß eine magnetiſche Scheibe, deren Maſſe durchweg vom Magneten angezogen wird, ſich äquatorial ſtellt. Die Erſcheinung beruht einfach darauf, daß die magnetiſche Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die Theile einander genähert wurden, verſtärkt worden iſt.

Daraus läßt ſich ſchließen, daß überhaupt in diamagnetiſchen wie in magnetiſchen Körpern, deren Theile nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abſtehen, die (diamagnetiſche oder magnetiſche) Wirkung, welche ſich an ihnen zwiſchen den Polen kund giebt, immer in der Richtung am ſtärkſten iſt, in welcher die materiellen Theile am nächſten bei einander ſind.

Von dieſem Geſichtspunkte ausgehend, verfertigten Knoblauch und Tyndall aus einem Pulver von chemiſch reiner kohlenſaurer Kalkerde, dem als Bindemittel etwas Gummiwaſſer hinzugefügt, und das (während des Trocknens) in einem Schraubſtock nach einer Richtung ſtark zuſammengepreßt worden war, ein Rhomboeder von der Form des Kalkſpathes mit der Rückſicht, daß die Axe dieſes Rhomboeders mit derjenigen Richtung zuſammenfiel, in welcher die Theile des kohlenſauren Kalkes beim Zuſammendrücken einander genähert worden waren.

Ein ſolcher verhielt ſich nun zwiſchen den Magnetpolen in allen Beziehungen genau eben ſo, wie ein diamagnetiſches Kalkſpathrhomboeder.

Bei den Kryſtallen der drei letzten Kryſtallſyſteme laſſen ſich die Erſcheinungen, welche dieſelben zwiſchen den Magnetpolen darbieten, durch die Annahme erklären, daß in ihnen die (magnetiſche oder diamagnetiſche) Wirkung nach einer Richtung hin ein Maximum, nach einer zweiten aber ein Minimum iſt, während nach der auf dieſen beiden ſenkrechten Richtung die Wirkung zwiſchen dieſen beiden Extremen liegt. — Knoblauch und Tyndall ahmten die magnetiſchen Erſcheinungen optiſch zweiaxiger Kryſtalle dadurch nach, daß ſie einen Teig von Wismuthpulver zwiſchen

Glasplatten in zwei auf einander ſenkrechten Richtungen mit ungleicher Kraft preßten.

Am Schluſſe dieſer Abhandlung bemerken Knoblauch und Tyndall, daß ihnen die neueſte Plücker'ſche Abhandlung erſt zu Geſicht kam, als ſie im Begriff ſtanden, die ihrige abzuſenden. Sie behalten ſich vor, die von den ihrigen abweichenden Anſichten von Plücker und Beer bei einer ſpäteren Gelegenheit zu beſprechen.

Die Acten über dieſen intereſſanten Gegenſtand ſind alſo noch keinesweges geſchloſſen, und deshalb läßt ſich auch noch kein definitives Urtheil über die einander entgegen tretenden Theorien fällen, obgleich ich nicht verhehlen kann, daß mir die Anſichten Knoblauch's ſchon ihrer größeren Einfachheit wegen einen Vorzug zu verdienen ſcheinen.

Zehnter Abſchnitt.

Thieriſche Elektricität.

Einleitung.

278 Auf dem Gebiete der thieriſchen Elektricität hat unſere Erkenntniß ſehr bedeutende Fortſchritte gemacht. Unter allen denen aber, welche dieſen Gegenſtand bearbeitet haben, iſt ſicher Du Bois-Reymond derjenige, welcher das Bedeutendſte geleiſtet und die Wiſſenſchaft mit den gediegenſten Errungenſchaften bereichert hat. Nicht allein eine Menge der wichtigſten Thatſachen hat er entdeckt, ſondern auch, mit kritiſchem Scharfblick den Zuſammenhang der Erſcheinungen verfolgend, präciſe Geſetze da nachgewieſen, wo bisher die größte Verwirrung herrſchte.

Du Bois hat die Reſultate ſeiner Jahre lang fortgeſetzten Unterſuchungen in einem Werke niedergelegt, welches zu Berlin unter dem Titel »Unterſuchungen über thieriſche Elektricität« in den Jahren 1848 und 1849 erſchienen iſt. Leider iſt es noch nicht vollendet, indem bis jetzt nur der erſte Band und die erſte Hälfte des zweiten vorliegt.

Dies Werk macht uns vollſtändig mit den neueren Fortſchritten der Elektrophyſiologie bekannt, indem es außer den eigenen Unterſuchungen des Verfaſſers auch die Arbeiten anderer Gelehrten auf dieſem Felde ausführlich beſpricht; wenn ich alſo im Folgenden das Weſentlichſte ſeines Inhaltes berichte, ſo dürfte wohl damit der Zweck unſers Berichtes vollſtändig erreicht ſeyn.

Du Bois ſchickt ſeinen eigenen Unterſuchungen eine hiſtoriſche Einleitung voraus, in welcher er bis auf die erſten Unterſuchungen Galvani's zurückgeht, was um ſo zweckmäßiger iſt, als die Geſchichte jener für die Elektricitätslehre ſo wichtigen Epochen bisher meiſt einſeitig im Sinne des Voltaismus dargeſtellt wurde, dann aber auch weil durch die im

Jahre 1841 durch das Inſtitut von Bologna erfolgte Herausgabe der „Opere edite ed inedite del Professore Luigi Galvani etc.“ neue, für dieſe Angelegenheit wichtige Documente bekannt geworden ſind.

Wer dieſe Einleitung geleſen hat, wird das Buch ſchwerlich ohne Befriedigung aus der Hand legen. Du Bois hat mit dem größten Fleiße die Quellen ſtudirt und berichtet mit lobenswerther Gewiſſenhaftigkeit; dabei iſt das Bild, welches er vor dem Leſer von jener für die Phyſik ſo denkwürdigen Zeit entfaltet, eben ſo lebendig und anziehend gemalt, wie es wahr und ſcharf gezeichnet iſt.

Ich kann es mir nicht verſagen, hier eine Stelle wörtlich anzuführen, in welcher das Verhältniß Galvani's und Volta's zu der ſich neu entwickelnden Lehre ſehr ſchön geſchildert wird.

»Niemand, der Galvani's Schriften geleſen hat, wird ohne Ehr»furcht von dem ſchlichten Bilde des Mannes ſcheiden, deſſen raſtloſem, »wenngleich dunklem Streben und naiver Wißbegier ſolche Früchte zu »tragen beſchieden war. Jeder wird ihn gern entſchuldigen, daß er den »Weg eingeſchlagen hat, den wir ihn alsbald werden gehen ſehen. Der »von ihm entdeckte Thatbeſtand war einer Gleichung von zweien Unbe»kannten zu vergleichen, deren eine das jetzige, durch Volta geſchaffene »Gebiet des Galvanismus, die andere aber wirklich die thieriſche Elek»tricität war, welche nunmehr, nach einem halben Jahrhundert ihr Recht »fordernd, abermals in die Schranken tritt. In der That, Galvani »hat, wie den phyſiologiſchen Grundverſuch des eigentlichen Galvanismus, »ſo den der elektriſchen Muskel- und Nervenphyſik entdeckt: den erſten »wie den letzten noch dazu gehüllt in ein Chaos von Bedingungen, wo»durch die Erfolge in beiden Fällen als gleich weſentlich abhängig von den »thieriſchen Theilen ſelbſt dargeſtellt wurden. Anatom und Phyſiolog »vom Fach, erfüllt von der damals geläufigen Vorſtellung einer thieri»ſchen Elektricität, die er ſogar im anatomiſchen Theater ſeinen Zuhörern »vortrug, war es kein Wunder, wenn er das dargebotene Räthſel vorzugs»weiſe von dieſer Seite anzugreifen ſuchte, an welche ſich bereits ein rei»ches Gebiet des Verſtändniſſes anzuknüpfen ſchien. Allein auch Volta »ſchwärmte für denſelben Gedanken; durch die vielen Enttäuſchungen, die »in dieſer Beziehung bereits ſtattgefunden hatten, mißtrauiſch gemacht, »ging er, nach ſeinem eigenen Ausdruck, ſo wie er nur die neuen Wunder »ſelbſt mit Händen gegriffen hatte, vom Unglauben zum Fanatismus »über. Dies verhinderte ihn jedoch nicht, die glänzenden Ausſichten, die »ſich durch Galvani's Entdeckungen für die Muskel- und Nervenphyſik »eröffnet zu haben ſchienen, unbedenklich fahren zu laſſen, als er, dem »damaligen Thatbeſtande gegenüber, das Unhaltbare derſelben entdeckt zu »haben glaubte. Niemand, der mit unpartheiiſchem Blick jene Geſchichte

»und das Verdienſt ihrer Häupter zu würdigen wünſcht, wird es wagen, »Galvani und Volta auf eine Stufe zu ſtellen und die rieſenhafte »Ueberlegenheit dieſes Phyſikers über alle ſeine Mitarbeiter und Gegner, »insbeſondere über die Bologneſer Schule, einen Augenblick zu verken- »nen. Nicht leicht möchte ſich in einer Natur wieder dieſer Reichthum »an unvergleichlichen Forſchergaben vereinigt finden, wie in Volta's: »dieſes, um mit Dove zu reden, »»unbegreifliche Talent,«« das »Weſentliche vom Unweſentlichen in einer verwickelten Erſcheinung zu »befreien; dieſe Kühnheit der Erfindung, welche dem Verſuch vorangeht, »gebändigt durch die ſtrengſte und umſichtigſte Methode; dieſer unabläſſig »rege Sinn des Beobachters, dem kein Umſtand entſchlüpft; endlich ne- »ben ſo viel Feinheit ſo viel Einfalt und Großartigkeit der Anſchauung, »neben ſolchem Denkerkopfe ſo die Hand des Mechanikers. Seltſam iſt »es nur, daß es eine deutſche Stimme ſeyn muß, welche über die Alpen »hinüber einen italiäniſchen Gelehrten wegen Verunglimpfung der Größe »Volta's zur Ordnung ruft.«

Hier iſt Gherardi gemeint, welcher größtentheils die Redaction der oben erwähnten Sammlung von Galvani's Werken beſorgte und welcher ſich in einem vorausgeſchickten »Rapporto« bemüht, Galvani um jeden Preis, ſelbſt auf Koſten Volta's, als eine der bedeutendſten und hervorragendſten Perſönlichkeiten geltend zu machen.

Nachdem Galvani an einem präparirten Froſch den Rückſchlag beobachtet hatte, welchen ein aus dem Conductor der Elektriſirmaſchine gezogener Funke hervorbringt, unterſuchte er den Rückſchlag durch den Blitz. Dieſe Verſuche beſchäftigten ihn während des Sommers 1786. Im Herbſte deſſelben Jahres ſuchte er die Wirkung der atmoſphäriſchen Elektricität bei nicht gewitterndem Himmel auf die präparirten Schenkel zu ermitteln. Es war am Abend des 20. Septembers, daß Galvani jene folgereiche Beobachtung von Zuckungen machte, welche den Ausgangspunkt für die neuere Elektricitätslehre bildet.

Dieſe Verſuche und die daran geknüpften Folgerungen veröffentlichte Galvani erſt im Jahre 1791 in ſeiner berühmten Schrift: »De viribus Electricitatis in motu musculari Commentarius.« In dieſem Commentar wird der Verſuch als mit kupfernen (aereus) Haken angeſtellt angegeben, während ſich in Galvani's hinterlaſſenen Papieren der Entwurf einer Abhandlung befindet, gezeichnet vom 30. October 1786, in welchem nur von eiſernen Haken die Rede iſt. Dies rührt wohl unſtreitig daher, daß Galvani im Lauf der Verſuche die Ueberlegenheit des ungleichartigen Metallbogens kennen gelernt hatte und daß er wünſchte, etwaigen Wiederholungen ſeines erſten Verſuchs in der urſprünglichen Geſtalt die möglichſte Sicherheit zu geben.

Auf dem Umſchlag der Tagebücher, die ſeine erſten galvaniſchen Verſuche vom September 1786 enthalten, findet man von Galvani's eigener Hand die Aufſchrift: »Esperimenti circa l'Electricitate de' metalli.« Er hatte alſo anfangs eine richtigere Vorſtellung über die Quelle der Elektricität, welche die von ihm entdeckte Zuckung hervorbrachte, allein ſchon die Abhandlung vom 30. October hat die Aufſchrift: »de animali Electricitate.«

Nach Galvani's Theorie ſind die Muskeln die vorzüglichſten Behälter der thieriſchen Elektricität. Sie ſtellen gleichſam eine Leidner Flaſche dar und zwar iſt ihre äußere Oberfläche negativ, in ihrem Innern iſt dagegen die poſitive Elektricität angehäuft. Der Nerv iſt der Conductor dieſer Flaſche, der neben den Blutgefäßen die Muskeln mit Elektricität verſieht.

»Der Sturm«, ſagt Du Bois, »welchen das Erſcheinen des Commentars in der Welt der Phyſiker, der Phyſiologen und Aerzte erregte, »kann nur mit dem verglichen werden, der zu derſelben Zeit (1791) am »politiſchen Horizont Europas heraufzog. Man kann ſagen, wo es Fröſche gab und wo ſich zwei Stücke ungleichartigen Metalls erſchwingen »ließen, wollte Jedermann ſich von der wunderbaren Wiederbelebung der »verſtümmelten Gliedmaßen überzeugen; die Phyſiologen glaubten ihren »hergebrachten Traum einer Lebenskraft mit Händen zu greifen, den »Aerzten, denen Galvani ſelbſt bereits mit Erklärungsverſuchen von »allerlei Nervenkrankheiten, Iſchias, Tetanus und Epilepſie nur allzu »leichtfertig vorangegangen ſchien, keine Heilung mehr unmöglich und zum »wenigſten ſcheintodt konnte niemand mehr begraben werden, der zuvor »galvaniſirt worden war.«

Am lebhafteſten war natürlich die Aufregung in Italien ſelbſt und namentlich in Volta's Umgebung. In vieler Beziehung erſcheint gerader er berufen, die Unterſuchung aufzunehmen, weil er ſchon die feinſten elektriſchen Unterſuchungen durchgeführt und namentlich am Elektrophor und dem Condenſator eine Schule durchgemacht hatte.

Nachdem ſich Volta von der Richtigkeit der Thatſache überzeugt hatte, faßte er ſie Anfangs ganz im Sinne Galvani's auf, allein er gab ſeinen Unterſuchungen ſogleich eine mehr phyſikaliſche Richtung. Volta wieß nach, daß das Froſchpräparat durch eine Ladung der Kleiſt'ſchen Flaſche erſchüttert werde, die kaum 0,1° des Bennet'ſchen Goldblattelektrometers betrage und nur mit Hülfe ſeines Condenſators wahrgenommen und beſtimmt werden könne. Den Froſchſchenkel ſelbſt, nach Galvani's Anſicht, als eine Leidner Flaſche betrachtend, ſuchte er die Stärke ihrer Ladung zu ermitteln; er vergleicht ſie mit 0,05 höchſtens 0,1 Grad ſeines Strohhalmelektrometers. Um das Zeichen der Vertheilung in Bezug

auf Nerv und Muskel zu beſtimmen, entlud er durch den Froſch eine ganz ſchwach geladene Flaſche bald in der Richtung von der Wirbelſäule zu den Muskeln, bald im umgekehrten Sinn, und fand, daß im erſten Falle Zuckungen erfolgten, im zweiten nicht, und ſchloß daraus, daß im erſten Falle der Entladungsſtrom der ſchwach geladenen Flaſche und des Froſchſchenkels gleiche, im zweiten Falle aber entgegengeſetzte Richtung habe, daß alſo, Galvani's Anſicht entgegen, der Nerv negativ, die Außenfläche des Muskels aber poſitiv ſey.

Hier hat nun Volta wirklich das Richtige durch Zufall getroffen, denn die eben angeführte Erſcheinung hat, wie wir weiter unten ſehen werden, einen ganz andern Grund.

Nun aber wird Volta an Galvani's Deutungsart irre. Er findet, daß unter weniger günſtigen Umſtänden die Zuckung nur noch durch Metallbogen hervorgebracht werden kann, welche aus ungleichartigen Metallen zuſammengeſetzt ſind. Er ging darauf aus, am lebenden menſchlichen Körper durch denſelben Kunſtgriff ungleichartiger Metallbewaffnung Zuckungen zu erregen; er belegte die obere und untere Seite der Zunge reſpective mit Zinn und Silber und fand, als die beiden Metalle in Berührung gebracht wurden, ſtatt der erwarteten Muskelbewegung eine ſeltſame Geſchmacksempfindung. So brachte Volta zum erſtenmale den alten Sulzerſchen Geſchmacksverſuch in ſeine natürliche Verkettung. — Hier konnte alſo nicht von einer Entladung die Rede ſeyn, ſondern von einem noch dunklen Spiel der Wirkungen ungleichartiger Metallbelege, welches ſich während der ganzen Dauer des Geſchloſſenſeyns unabläſſig erneuert.

Volta ſprach nun ſeine Anſicht dahin aus, daß die Mehrzahl der galvaniſchen Erſcheinungen mit einer thieriſchen Elektricität nichts zu ſchaffen hätte, ſondern daß die Zuckung von einer ſehr ſchwachen künſtlichen Elektricität herrühre, welche durch das Anlegen ungleichartiger Metalle erzeugt würde. Alsbald ging er aber noch weiter, indem er behauptete, daß ſelbſt in ſolchen Fällen, wo man glaubte, es mit gleichartigen Metallen zu thun zu haben, irgend eine unbemerkt gebliebene Verſchiedenheit in der Oberfläche des Metalls die Urſache der Elektricitätsentwickelung geweſen ſey. Um zu zeigen, wie leicht ſich ſolche Verſchiedenheiten einſtellten, machte er den Verſuch mit einem wirklich gleichartigen eiſernen Bogen, d. h. mit einem ſolchen, welcher am Froſchſchenkel keine Zuckung hervorbrachte; das eine Ende dieſes Bogens wurde nun eine halbe Minute lang in ſiedendes Waſſer getaucht und vor der Abkühlung deſſelben der Verſuch am Froſchſchenkel wiederholt, und nun zeigte ſich die Zuckung. Daſſelbe ergab ſich durch Anlaſſen des einen Endes, während das andere hart blieb. Er ließ nun die Vorſtellung einer thieriſchen Elektri-

cität ganz fallen, indem er überall, wo Zuckungen beobachtet wurden, eine Heterogenität im Metallbogen als Urſache derſelben annahm.

Wollte Galvani ſeine Theorie aufrecht erhalten, ſo mußte er Zuckungen mit abſolut gleichartigen Metallbogen oder Zuckungen ohne Metalle hervorbringen. In der That verſuchte er dieß, unterſtützt von ſeinem Neffen Aldini, und wenn ihre Vertheidigung auch keinesweges in allen Theilen eine glückliche genannt werden kann, denn ſie beweiſen in derſelben mehrmals, daß ſie Volta's Einwürfe gar nicht richtig verſtanden hatten, ſo führten ihre Beſtrebungen dennoch dahin, daß Galvani wirklich Zuckungen ohne Metall hervorbrachte, welche man unbedenklich als von thieriſcher Elektricität herſtammend anerkennen konnte. Wären er und ſeine Anhänger nun dabei ſtehen geblieben, dieſe und ſolche Zuckungen, welche bei wirklich homogenen Metallbogen entſtehen, der thieriſchen Elektricität zu vindiciren, dabei aber anzuerkennen, daß die kräftigere Wirkung, welche man bei Anwendung ungleichartiger Metallbogen erhält, nach der Volta'ſchen Anſicht zu erklären ſey, ſo wäre ſchon damals eine der Wahrheit entſprechende Ausgleichung des Streites möglich geweſen. Man wollte aber durchaus Galvani's Theorie über das ganze Gebiet der beobachteten Zuckungen ausdehnen und erklärte die größere Wirkſamkeit ungleichartiger Metallbelege durch den Widerſtand, den dieſe Art der Zuſammenſetzung des Bogens dem Durchgange der thieriſchen Elektricität entgegenſtelle, wodurch denn eine ſtärkere Anhäufung und eine kräftigere Entladung derſelben bewirkt werden ſollte.

Die Verſuche, um Zuckungen ohne Metalle zu erhalten, hat Galvani in mannichfacher Weiſe modificirt und in einer anonymen Schrift beſchrieben, welche unter dem Titel: »Dell' uso e del attivita dell' Arco conduttore nelle contrazzione de' muscoli,« wahrſcheinlich im Jahre 1794 erſchienen iſt. Sie fand nur eine geringe Verbreitung. — Manche der von Galvani angegebenen Formen des Verſuchs ſind nicht tadellos, die folgende aber kann wirklich als der Grundverſuch der elektriſchen Muskel- und Nervenphyſik bezeichnet werden: Man ſchneide an dem Galvani'ſchen Froſchpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsſtelle aus dem Wirbelkanal ab, und ohne ſie in irgend eine Flüſſigkeit zu tauchen oder ſonſt einem verändernden Einfluß auszuſetzen, bringe man ſie mit der Außenfläche des einen Schenkels in Berührung, entweder indem man ſie mit einem Nichtleiter aufhebt und dann wieder fallen läßt, oder indem man ſie mit demſelben ſanft dagegen führt, und zwar, wo möglich nur gegen einen einzigen Punkt der Muskeln; ſogleich würden die Schenkel zucken.

Ja Galvani brachte ſogar den Schenkel zum Zucken, indem er den Nerven mit einem fremden Muskel in Berührung brachte, welcher mit

den Schenkeln gar nicht leitend verbunden war; er ließ den Nerven des nicht enthäuteten Präparats auf ein Stück Bauchmuskel fallen, welches, auf einer Glasplatte ruhend, ſonſt in keiner Verbindung mit dem Froſche ſtand, und der Schenkel zuckte. Wir werden den wahren Zuſammenhang dieſer Erſcheinung ſpäter kennen lernen.

Volta hebt nun dieſen Verſuchen gegenüber beſonders hervor, daß dieſe Zuckungen außerordentlich ſchwach ſind gegen diejenigen, welche durch ungleichartige Metalle entſtehen, daß ſie nur in ſeltenen Fällen höchſter Leiſtungsfähigkeit des Froſchpräparates auftreten, und ſuchte anfangs dieſe Zuckungen durch eine mechaniſche Reizung der Nerven zu erklären; doch geſtand er ſpäter ſelbſt ein, hier zu weit gegangen zu ſeyn, nachdem es ihm gelungen war, ſeine Theorie ſo zu modificiren, daß ſie auch dieſe Thatſache erklären konnte. Er ſagt, man könnte ſich nach dieſen Verſuchen veranlaßt finden, auf den Standpunkt zurückzukehren, welchen er im Sommer 1792 eingenommen hatte: nämlich einen Theil der Erſcheinungen auf Rechnung der Metalle bringen und die Zuckungen mit gleichartigen Bögen und ohne Metalle von einer wirklichen ächten, den thieriſchen Gliedern eingeborenen Elektricität herleiten. Aber warum, fragt er, einerlei Wirkung verſchiedene Urſache unterlegen? ſeine Grundſätze reichten hin, auch dieſe ſcheinbar davon abweichenden Reſultate zu deuten. Volta's Erklärung des fraglichen Phänomens kommt darauf zurück, daß zwei einander ungleichartige thieriſche Theile, z. B. Nerv und Muskel, durch Dazwiſchenkunft eines feuchten Leiters zur Kette vereinigt würden, denn, wenn der Verſuch gelingen ſoll, ſo darf der Schenkelmuskel, auf welchen man den Nerven legt, nicht ganz rein, ſondern er muß, wie dies auch ſeine Gegner anführen, mit Blut oder ſonſt einer zähen Flüſſigkeit verunreinigt ſeyn. Blieben die Zuckungen aus, ſo genüge es daher, um ſie zu erzeugen, die Theile, welche zur Berührung gebracht werden ſollte, mit Speichel, mit Salzwaſſer, mit Schleim u. ſ. w., noch beſſer aber mit Seifenwaſſer und am beſten mit ſtark ſauren oder alkaliſchen Flüſſigkeiten zu benetzen.

Nun, wo es um die thieriſche Elektricität wirklich bedenklich zu ſtehen ſcheint, tritt Humboldt für dieſelbe in die Schranken. In ſeinem berühmten Werke: »Verſuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaſer u. ſ. w. (Poſen und Berlin 1797), beſchreibt er eine Reihe von Verſuchen, welche Zuckungen von Froſchſchenkeln unter Umſtänden hervorbrachten, in welchen ſowohl der Verdacht der mechaniſchen Reizung als auch der Verunreinigung durch Blut, Schleim u. ſ. w. gänzlich beſeitigt war, indem nur Nerv und Muskelfleiſch in Berührung kamen. Humboldt faßt die Ergebniſſe ſeiner Verſuche folgendermaßen zuſammen: »Hier hatte ich alſo lebhafte Muskelbewegungen erregt

»1) indem ich die Lende eines Thieres gegen den »Iſchiadnerven zurückbog, mit dem ſie noch »organiſch verbunden war;

»2) indem der Cruralnerv und ſein Schenkelmus- »kel mittelſt eines abgeſchnittenen Stückes »Cruralnerv zugleich berührt wurde, und

»3) indem thieriſche Theile eine Leitung von ei- »nem Theile des Nerven zum andern bildeten.

»In dem erſten Falle war der Contact bloß unter ſolchen Theilen, »welche organiſch mit einander verbunden waren. In den beiden letz- »ten Fällen geſchah derſelbe mittelſt getrennter Stücke, welche aber kurz »vorher noch dem gereizten Organe angehörten und entweder der ſenſibeln »oder irritabeln Fiber homogen waren.«

Ferner beweiſt Humboldt die Möglichkeit von Zuckungen mit wirklich gleichartigen Metallbogen. In Beziehung auf Volta's entgegenſtehende Behauptungen ſagt er: »Es iſt unwiderſprechlich wahr, und durch die »Beobachtungen des großen Ticiniſchen Naturlehrers erwieſen, daß »Thiere, bei denen homogene Metalle keine Convulſio- »nen erregen, dieſelben ſogleich erleiden, wenn die Me- »talle durch die leiſeſte Abänderung des Miſchungsver- »hältniſſes, der Politur, Härte, Form, Temperatur, un- »gleichartig gemacht werden. Dieſes iſt das Reſultat jener Ver- »ſuche, wie mir ſcheint, nicht aber der Satz, den Volta aufſtellt: daß »nur unter der Bedingung einer Ungleichartigkeit in den »Metallen Muskelbewegungen erfolgen könne.«

So weiß Humboldt mitten im leidenſchaftlichen Kampfe mit klarem Blick den richtigen Standpunkt aufzufinden.

Auch Galvani ſuchte noch in mehreren Briefen an Spallanzani die Verdächtigungen zu entkräften, welche Volta gegen die Zuckung ohne Metalle vorgebracht hatte, um alsbald vom Schauplatz abzutreten, indem er am 4. December 1798 ſtarb, vielleicht ein Glück für ihn, ohne die Entdeckung der Säule und den dadurch herbeigeführten gänzlichen Untergang ſeiner Lehre zu erleben.

Aber auch Volta hatte unterdeſſen, auf ſeinem Wege vorwärtsſtrebend, Rieſenſchritte gemacht. Bisher hatte er es noch ganz unentſchieden gelaſſen, ob die Urſache des Stromes eher in der Berührung der Metalle unter ſich, als in der Berührung der Metalle mit der Flüſſigkeit zu ſuchen ſey; ja er neigte ſich ſogar entſchieden zu der Anſicht, die Berührungsorte der Metalle mit der Flüſſigkeit ſeyen der Sitz des ſtromerregenden Vorganges. Erſt ſpäter überzeugte er ſich, daß bei der gewöhnlichen Art, die Galvani'ſchen Verſuche anzuſtellen, wobei die Metalle an wäſſerige oder

ähnliche feuchte Leiter angelegt werden, weit mehr der wechſelſeitigen Berührung der Metalle, als ihrer Berührung mit dem feuchten Leiter zugeſchrieben werden müſſe, und nun folgt die berühmte Verſuchsreihe, welche unter dem Namen der Volta'ſchen Fundamentalverſuche bekannt iſt, durch welche die Elektricitätserregung durch Berührung homogener Metalle experimentell nachgewieſen wurde.

Zu Ende des Jahres 1799 glückte ihm der Schritt, von dem er ſelbſt ſagt, daß er ein großer geweſen ſey.

Es war die Entdeckung der Säule.

Durch die Säule war der Sieg ſeiner Anſichtsweiſe entſchieden. Nur noch Aldini war für die verlorene Sache der thieriſchen Elektricität thätig und gab im Jahre 1804 ein Prachtwerk in franzöſiſcher Sprache unter dem Titel „Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme“ heraus. In dieſem Werke führt er neben vielen ganz werthloſen Verſuchen manche als neu an, welche längſt von andern Naturforſchern beſchrieben waren, ja er geht ſo weit, ein Plagiat an Galvani zu verſuchen, indem er ſich die Entdeckung der Zuckungen ohne Metalle vindicirt. Mit Aldini's Werk tritt die thieriſche Elektricität für einen Zeitraum von 23 Jahren von der Bühne der Wiſſenſchaft ab, denn bis zum Jahre 1827, wo Nobili die elektromagnetiſche Wirkung des Froſchſtroms darthat, treten nun noch einzeln ſtehende Beſtätigungen des Grundverſuchs ohne Metalle auf.

279 **Elektromagnetiſche Wirkungen des Froſchſtroms.** Oerſted hatte im Jahr 1840 die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvaniſchen Strom entdeckt, welche alsbald zur Conſtruction des Multiplicators führte, durch welchen, wie Du Bois treffend ſagt, »die Metallelektricität in »den Stand geſetzt wurde, das Unrecht zu vergüten, deſſen ſie ſich an ihrer »zarteren Zwillingsſchweſter in frühern Jahren ſchuldig gemacht.«

Nobili hatte durch Anwendung der Ampère'ſchen aſtatiſchen Doppelnadel dem Multiplicator einen bis dahin nicht geahnten Grad von Empfindlichkeit gegeben. Der erſte Gebrauch, den er davon machte, war, daß er elektriſche Ströme in den Nerven aufſuchte. Seine Bemühungen blieben vergeblich. Nobili wollte nun die Empfindlichkeit des Froſchpräparats mit der ſeines Multiplicators vergleichen. Es iſt ein alter Verſuch, daß das Galvani'ſche Froſchpräparat zuckt, wenn man Wirbelſäule und Füße in zwei Gefäße mit Waſſer oder Salzlöſung taucht und dieſe leitend verbindet, etwa durch befeuchtete Asbeſt- oder Baumwollendochte. Als derſelbe Strom, welcher das Froſchpräparat zucken machte, auch durch den Multiplicator geleitet wurde, blieb aber die Nadel ruhig. Der ſchwache Strom alſo, welcher das Froſchpräparat noch zucken macht, konnte die Nadel des Multiplicators nicht mehr bewegen.

Nun wandte Nobili allen Fleiß auf die Herſtellung eines neuen, noch vollkommneren Multiplicators: jetzt erhielt er mit Salzlöſung in den Gefäßen einen erſten Ausſchlag von 10°, 20°, ja von 30°. Enthielten dieſelben nur Waſſer, ſo betrugen die Ausſchläge nur wenige Grade, und auch dieſe Ausſchläge verſchwanden, als die Waſſerſtrecke verlängert wurde, während ein kräftiger Froſch unter dieſen Umſtänden noch fortfuhr, durch ſchwache Zuckungen ſeine überlegene Empfindlichkeit darzuthun. — Die Ablenkung des Multiplicators war aber, wenn ſie erfolgte, ſtets ſo gerichtet, daß er einen poſitiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zum Kopf in dem Froſch anzeigte. Dieſen Strom, denſelben, welcher die Galvani'ſche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili „la corrente propria della rana"; wir nennen ihn Froſchſtrom.

Die wichtigſten Thatſachen, welche Nobili in Beziehung auf den Froſchſtrom ausmittelte, ſind folgende:

Der Froſchſtrom iſt nicht bloß im Augenblick der Schließung, ſondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5° beſtändiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verſtärkt, wenn man mehrere Fröſche, nach dem Geſetz der Säule geordnet, in den Kreis einführt; ein zweiter Froſch gab 8°, ein dritter gab 11° beſtändiger Ablenkung. — Das Daſeyn des Stromes iſt von der Fähigkeit des Froſches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervorgeht, daß die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchſtens nach ¼ Stunde aufhören. Die Mehrzahl der friſch zubereiteten Fröſche zeigt nur die Schließungszuckung, während bei ſehr kräftigen auch die Oeffnungszuckung wahrgenommen wird; wenige zeigten nur die Oeffnungszuckung.

Was die Theorie des Froſchſtromes anlangt, ſo huldigte Nobili der Anſicht, dieſe Ströme ſeyen thermoelektriſchen Urſprungs, und leitete ſie aus der ſtärkeren Abkühlung her, welche die geringere Maſſe der Nerven im Verhältniß zu der geringeren Abkühlung der größeren Maſſe der Muskeln durch die Verdunſtung erleiden.

Dieſen Ausſprüchen einer ſolchen Autorität iſt es wohl beizumeſſen, daß die Entdeckung der elektromagnetiſchen Wirkung des Froſchſtroms ſo wenig Aufſehen erregte und einen ſo geringen Einfluß auf die Behandlung der thieriſchen Elektricität gewann.

Erſt den Beſtrebungen Matteuccis gelang es, die Bedeutung zur Einſicht zu bringen, welche der Froſchſtrom für die organiſche Phyſik hat. — Schon früher hatte er ſich mit allerlei elektriſch-phyſiologiſchen Unterſuchungen beſchäftigt, deren Betrachtung wir übergehen, weil ſie weder mit

unſerm Gegenſtande in näherer Beziehung ſtehen, noch an und für ſich irgend nennenswerthe Reſultate ergaben.

Sehr wahr charakteriſirt Du Bois den Geiſt, welcher ſich in allen Arbeiten Matteucci's kund giebt, in folgender Weiſe: »Dieſelbe Untreue »der Natur, ſich ſelbſt und andern Forſchern gegenüber, dieſelbe Leichtfer»tigkeit in ſeinen Behauptungen und in ſeinen Hypotheſen, welche mehr »geeignet ſcheinen Aufſehen zu erregen, als ſich den Thatſachen anzuſchmiegen; »dieſelbe Lockerheit der Schlußfolgen, wodurch er verhindert wird, den »Vortheilen nachzugehen, womit ihn der Zufall während ſeiner langen mit »anerkennenswerther Emſigkeit geführten Forſchungen mehrmals glänzend »beſchenkte; endlich eine Vernachläſſigung der Form, welche nicht durch »den Gebrauch einer fremden Sprache entſchuldigt werden kann, da ſie »ſich mehr in der mangelhaften Gliederung des Stoffs und in der viel»deutigen Unbeſtimmtheit des Ausdrucks kund giebt: dies ſind die Uebel»ſtände, welche wir im Laufe dieſes Werkes noch häufig zu bekämpfen »haben werden.«

Es iſt ſehr zu bedauern, daß Matteucci diejenigen Entdeckungen und Forſchungen, welche wirklich einen Werth für die Wiſſenſchaft haben, in der leidigen Sucht, maſſenweiſe ſeine Aufſätze in die Welt zu ſchicken, ſo ſehr mit Werthloſem und Irrigem verdünnt, publicirt hat, daß er aus Eitelkeit ſich ſo viele Sünden gegen die Wahrheit zu Schulden kommen läßt; er veröffentlicht ſeine Unterſuchungen größtentheils in verſchiedenen Journalen Italiens, Frankreichs und Englands; meiſt findet man in ſeinen Aufſätzen einen geringen Gehalt an Neuem mit ſolchem zuſammengeſtellt, was er ſchon an zehn andern Orten in etwas anderer Weiſe publicirt hat. In der Haſt, eine neue Waare zu Markt zu bringen, muß er natürlich ſehr häufig Unreifes und Irriges hinausſenden, er kommt daher ſehr häufig in den Fall, daß er ſich ſpäter ſelbſt eines Beſſern überzeugt. Aber Matteucci widerruft nie, die neue Anſicht wird publicirt, ohne der alten auch nur mit einer Silbe zu erwähnen, dieſe wird völlig ignorirt, nie corrigirt. Große Gewandtheit beſitzt Matteucci darin, die Unterſuchungen älterer und neuerer Naturforſcher zu benutzen ohne ſie zu nennen, und ſo ſich mit fremden Verdienſten zu ſchmücken.

So ſcheinen denn Matteucci's Aufſätze mehr dazu gemacht, Aufſehen zu erregen als ſtudirt zu werden; ſie bilden ein Chaos, aus dem das Wahre und Werthvolle nur mit Mühe hervorgezogen werden kann. Kein Wunder iſt es, wenn wir unter dieſen Umſtänden ſehen, wie Du Bois, nachdem er ſich durch dieſes Labyrinth durchgearbeitet hat, voll gerechten Ingrimms die Geißel über ein ſolches Treiben ſchwingt. Wir müſſen Du Bois' Kritik, welche er in dieſem Werke ſowohl, als auch im Berliner Jahresbericht über Matteucci ergehen läßt, um ſo mehr als gerechtfer-

tigt erklären, als die Unarten, welche hier gezüchtigt werden und welchen ſich Matteucci in ſo hervorſtechendem Maaße ſchuldig macht, mehr oder weniger auch andern Naturforſchern zur Laſt fallen, und es im Intereſſe der Wiſſenſchaft wirklich wünſchenswerth iſt, dergleichen mehr und mehr ausgerottet zu ſehen.

Becquerel hatte im Jahre 1836 eine Theorie der Zitterfiſche aufgeſtellt, der zu Folge ſich die Elektricität im Moment des Schlages im Gehirn entwickelt und von hier aus dem elektriſchen Organ zugeführt wird, um hier zur Ladung der kleinen Säulen zu dienen, aus denen es zuſammengeſetzt iſt.

Matteucci bemächtigt ſich dieſes Gedankens; ohne Becquerel zu nennen, publicirt er dieſe Theorie in verſchiedenen Journalen. In ſeinem „Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux 1844“ thut er derſelben gar keine Erwähnung mehr, weil er wohl unterdeſſen die Unhaltbarkeit dieſer Anſicht eingeſehen hatte, ohne jedoch irgendwo klar und deutlich ſeine Meinungsänderung angezeigt zu haben.

Dieſe Theorie nun führte ihn zum Studium des Froſchſtroms. Er nahm an, die Elektricitätsentwickelung im Gehirn entſpringe aus der Berührung des „élément nerveux“ und des „élément sanguin“, die ſich im Gehirn befänden; und dieſelben wirkſamen Beſtandtheile erblickte er im elektromotoriſchen Schenkel des Froſches, und ſein Beſtreben ging zunächſt dahin, den Froſchſtrom von dem Verdacht eines gemeinen elektrochemiſchen oder thermoelektriſchen Urſprungs zu befreien.

Die erſten Unterſuchungen über den Froſchſtrom in Verbindung mit ſolchen über den Zitterrochen publicirte Matteucci im Jahre 1837. Im Jahre 1838 publicirte er einen für uns wichtigeren Aufſatz über den Froſchſtrom allein. Er bediente ſich zu den Verſuchen, welche in dieſem Aufſatz beſprochen werden, eines Multiplicators von 2500 Windungen mit Platinenden, die in zwei mit verdünnter Salzlöſung gefüllte Porzellangefäße tauchten, die ich mit a und b bezeichnen will. a war mit einem dritten Gefäße c, b mit einem vierten d, welche gleichfalls verdünnte Salzlöſung enthielten, durch dicke Baumwollendochte verbunden. Die Schließung der Kette geſchah durch die Verbindung von c und d mittelſt des Froſchpräparates.

Die wichtigſten Reſultate, die er hier mittheilt, ſind folgende. Man erhält einen Strom, eben ſo ſtark wie den des Galvani'ſchen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Froſch zum Verſuch verwendet und die Füße in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß taucht. Mit dem Galvani'ſchen Präparat erhält man den Strom noch in ungeſchwächter Stärke und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeſchnitten ſind, den Unterſchenkel auf

der einen, den Oberſchenkel auf der anderen Seite eintaucht. — Was die Größe der Multiplicatorwirkung betrifft, ſo erhielt Matteucci bei Weglaſſung der beiden mittleren Gefäße einen Ausſchlag von 25—30°, und eine beſtändige Ablenkung von 3°, welche aber wegen der wachſenden Polariſation an den Platinplatten binnen einer viertel Stunde auf 2° ſank. Wurde nun nach Entfernung des Froſches die Kette durch einen Docht geſchloſſen, ſo erfolgte ein von der Ausgleichung der Polariſation herrührender Ausſchlag von 15 — 20 Graden nach der entgegengeſetzten Seite. — Weil der Froſchſtrom eine ziemlich dicke Schicht von Salzwaſſer durchdringe, ſo müſſe er, meinte Matteucci, auch einer elektrochemiſchen Wirkung fähig ſeyn (?), und verſuchte dieſe durch Jodkaliumlöſung nachzuweiſen. — An tetaniſchen Fröſchen ſolle der Strom fehlen. — Ein durch Eis erkalteter Froſch gebe gleichfalls keinen Strom mehr u. ſ. w.

Von dem »courant propre des nerfs et du sang«, welche Hypotheſe der Ausgangspunkt dieſer Unterſuchungen für Matteucci war, iſt hier ſchon nicht mehr die Rede, er ſagt, die Urſache des Froſchſtroms ſey uns ſchlechterdings unbekannt.

Matteucci's wahres Verdienſt in dieſer Arbeit iſt in dem Nachweis zu ſuchen, daß der elektromotoriſche Vorgang, auf welchem der Froſchſtrom beruht, unabhängig iſt von der Berührung vom Muskel- und Nervengewebe außerhalb der Glieder oder ihrer Schließung zum Kreiſe; daß die Verbindung von je zwei Punkten des Froſches, z. B. Unterſchenkel und Rücken, einen Strom gebe. Durch dieſe Entdeckung fällt die ältere Volta'ſche Theorie, Nobili's thermoelektriſche Hypotheſe und die Vorſtellung eines gemeinen elektrochemiſchen Vorgangs in ſich zuſammen. Die hier von Matteucci angewandte Beobachtungsmethode enthält den Keim, deſſen weitere Entwickelung die Mittel bietet, die Geſetze des Muskelſtroms näher zu erforſchen. — Dieſe Arbeit, welche ſpäter in Matteucci's »Essai sur les phénomènes électriques des animaux« Paris 1840, als ſechstes Kapitel der zweiten Abtheilung unverändert und ohne Zuſatz nochmals abgedruckt wurde, bildet den Ausgangspunkt der Unterſuchungen, welche Du Bois über thieriſche Elektricität anſtellte.

Die erſten Erfolge in der Bearbeitung des Gegenſtandes erhielt derſelbe im Frühjahr 1842. Im Januarheft 1843 von Poggendorff's Annalen erſchien ein Aufſatz von Du Bois unter dem Titel: »Vorläufiger Abriß einer Unterſuchung über den Froſchſtrom und über die elektromotoriſchen Fiſche«, welche die Reſultate ſeiner erſten Unterſuchungen enthält. Ich werde über dieſe Arbeit nicht beſonders berichten, weil ihre Reſultate in das größere Werk übergegangen ſind, welches wir eben beſprechen.

Der Multiplicator. Hier mag in Kürze das Wichtigſte von dem 280
folgen, was Du Bois mit dankenswerther Ausführlichkeit über die Conſtruction und die Anwendung dieſes Inſtrumentes ſagt.

Da der Leitungswiderſtand der elektromotoriſchen Theile des thieriſchen Körpers, welche durch den Multiplicator geſchloſſen werden, ſehr bedeutend iſt, ſo muß man zur Conſtruction eines zu dieſen Verſuchen brauchbaren Multiplicators auch einen ſehr langen und dünnen Draht verwenden. Zum Du Bois'ſchen Multiplicator waren 1000 Meter Kupferdraht von 0,17^{mm} Durchmeſſer verwendet worden, und zwar bildete dieſer Draht 4650 Windungen. In der Form wich dieſer Multiplicator etwas von den bisher gebräuchlichen ab. Die Länge des Rahmens, auf welchen der Draht aufgewunden wurde, war im Lichten 64^{mm} lang und 37^{mm} breit; die Höhe der Querleiſten, alſo der Zwiſchenraum, in welchem die untere Nadel ſpielte, war nur 4^{mm} hoch. Die Länge der Seitenwände betrug 110, ihre Höhe 51 Millimeter. Der durch die Drahtwindung gebildete Körper war alſo ſchmaler und höher als gewöhnlich.

Die Länge der Nadeln betrug 58,4^{mm}, ihr Durchmeſſer 1^{mm}, ihr Abſtand im Lichten 25^{mm}.

Die Nadeln waren cylindriſch mit kegelförmigen Spitzen; jede Nadel wog 384, das neuſilberne Verbindungsſtück 408 Milligramm. Später wandte Du Bois ein anderes Spiel Nadeln an, welches bei gleicher Empfindlichkeit eine geringere Schwingungsdauer hat. Länge und Abſtand der Nadeln waren dieſelben, die Nadeln aber etwas dünner und allmälig zugeſpitzt. Das Gewicht jeder Nadel beträgt 226, das Gewicht des kupfernen Verbindungsſtückes 130 Milligramm.

Die Franzoſen verwenden in der Regel noch weit leichtere Nadeln, welche allerdings eines ſtärkern Magnetismus fähig ſind, deren magnetiſcher Zuſtand aber auch bei weitem nicht ſo ſtabil iſt als der der ſtärkern Nadeln; deshalb verliert ſich bei den franzöſiſchen Inſtrumenten ſo leicht die Aſtaſie, namentlich wenn die beiden Nadeln nicht gleich lang ſind.

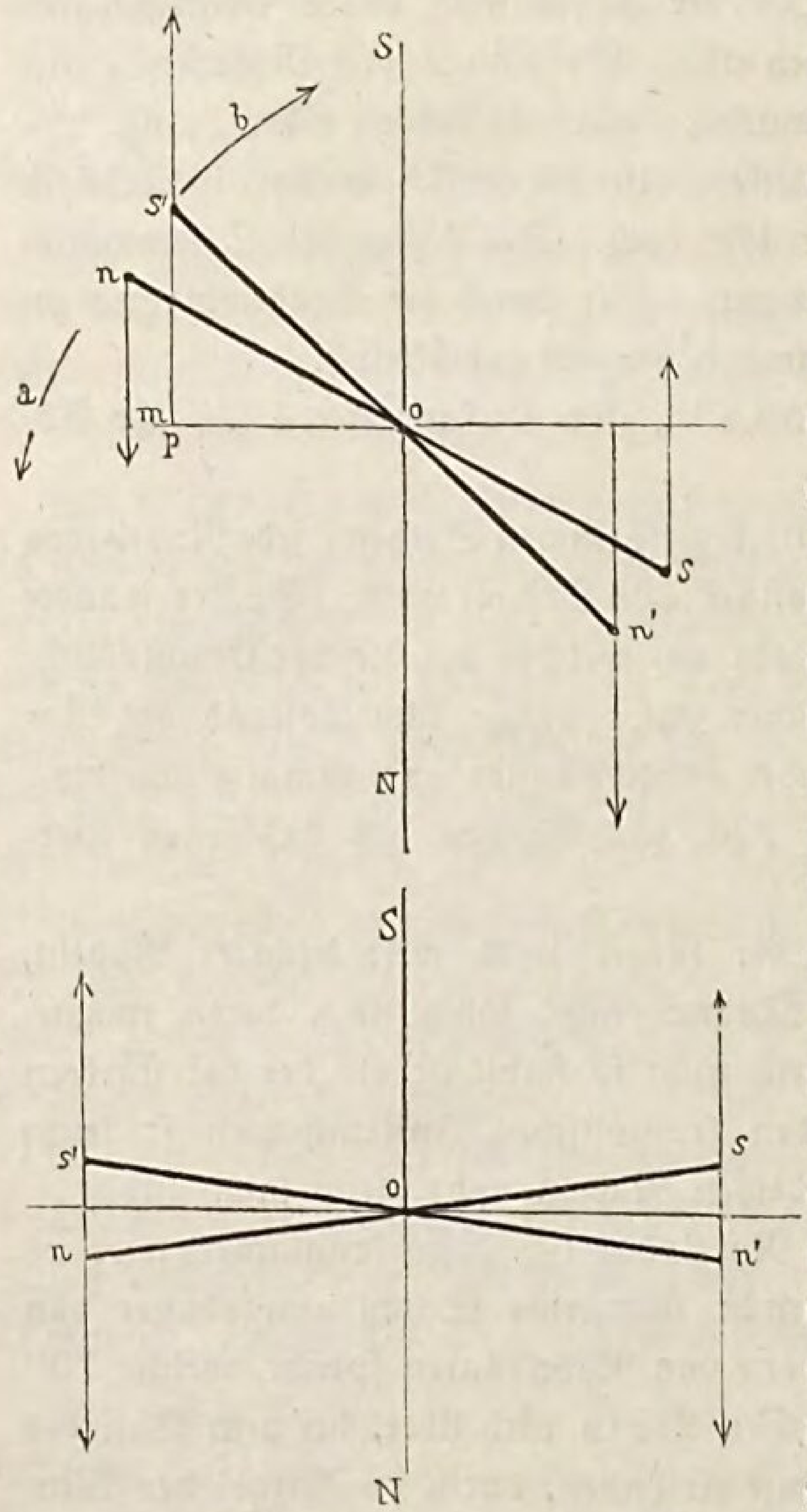
Je vollkommner aſtatiſch ein Nadelpaar iſt, deſto langſamer wird es ſchwingen. Du Bois hat es nicht über eine Schwingungsdauer von 30″ gebracht, während Matteucci von Nadelpaaren ſpricht, welche 70″ zu einer Schwingung brauchten. Du Bois räth aber, bei dem Bau des Multiplicators es vielmehr im Auge zu haben, durch die Anzahl der Windungen und ihre möglichſt günſtige Lage gegen die Nadeln die genügende Empfindlichkeit zu erzielen, als durch die weiter getriebene Aſtaſie. Der von Du Bois gebrauchte Multiplicator warf die Nadeln oft ſchon gegen die Hemmung, während Matteucci unter gleichen Umſtänden nur eine Ablenkung von wenigen Graden erhielt.

Ein gut aſtatiſches Nadelpaar ſtellt ſich nicht mehr in den in den mag-

netiſchen Meridian ein, ſondern weicht um ſo mehr von demſelben ab, je vollkommner die Aſtaſie iſt, ſich endlich nahezu rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian ſtellend. *Du Bois* nennt dies bezeichnend die *freiwillige Ablenkung aſtatiſcher Nadelpaare.* An der Größe dieſer freiwilligen Ablenkung kann man die mehr oder weniger vollkommene Aſtaſie der Nadeln erkennen.

Schon *Nobili* hat den Grund der freiwilligen Ablenkung richtig darin gefunden, daß die Horizontalprojectionen beider Nadeln nie ganz zuſammenfallen, ſondern einen mehr oder weniger großen Winkel mit einander machen. Es iſt dies mit Hülfe der Figur 274 leicht zu überſehen. Es ſeyen ns und $n's'$ die Horizontalprojectionen der beiden vollkommen gleichen und gleich ſtark magnetiſchen Nadeln, NS der durch ihren Kreuzungspunkt o gelegte magnetiſche Meridian. Die Kräfte, welche die Nadeln zu drehen ſtreben, können wir uns in ihren Endpunkten angebracht denken, und zwar iſt ihre Richtung parallel mit NS, wie es in der Figur durch Pfeile angedeutet iſt. Bezeichnen wir die in n angreifende, parallel mit NS wirkende Kraft mit k, ſo iſt kl das ſtatiſche Moment, mit welchem dieſe Kraft die eine Nadel in der Richtung des Pfeiles a zu drehen ſtrebt, wenn wir mit l den Hebelarm om bezeichnen. Die Geſammtkraft, mit welcher die Nadel s in dieſer Richtung gedreht wird, iſt $2kl$, weil am anderen Ende der Nadel eine gleiche Kraft, an gleichem Hebelarm angreifend, eine Drehung nach derſelben Richtung bewirkt.

Fig 274.



Die Kraft, mit welcher die andere Nadel $n's'$ in entgegengeſetzter Richtung, alſo in der Richtung des Pfeils b gedreht wird, iſt $2kl'$, wenn mit l' der Hebelarm op bezeichnet wird.

Zwiſchen den beiden, das Syſtem nach entgegengeſetzter Richtung drehenden ſtatiſchen Momenten $2\,kl$ und $2\,kl'$ kann aber natürlich nur dann Gleichgewicht ſtattfinden, wenn $l = l'$, und dies iſt nur dann der Fall, wenn die Nadeln die in Fig. 274 vorgezeichnete Lage haben, d. h wenn die Linie, welche den in der Wirklichkeit ſehr ſpitzen Winkel der Nadeln halbirt, rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht.

Von dieſer Stellung wird die Gleichgewichtslage des Nadelpaars natürlich um ſo mehr abweichen, je ungleicher der Magnetismus der beiden Nadeln iſt.

Die freiwillige Ablenkung hat für den Gebrauch des Multiplicators keinen praktiſchen Nachtheil. Man folgt der Nadel mit der Nulllinie, bis ſie in derſelben einſteht, und arbeitet alsdann, als ob ſie ſich im Meridian befände.

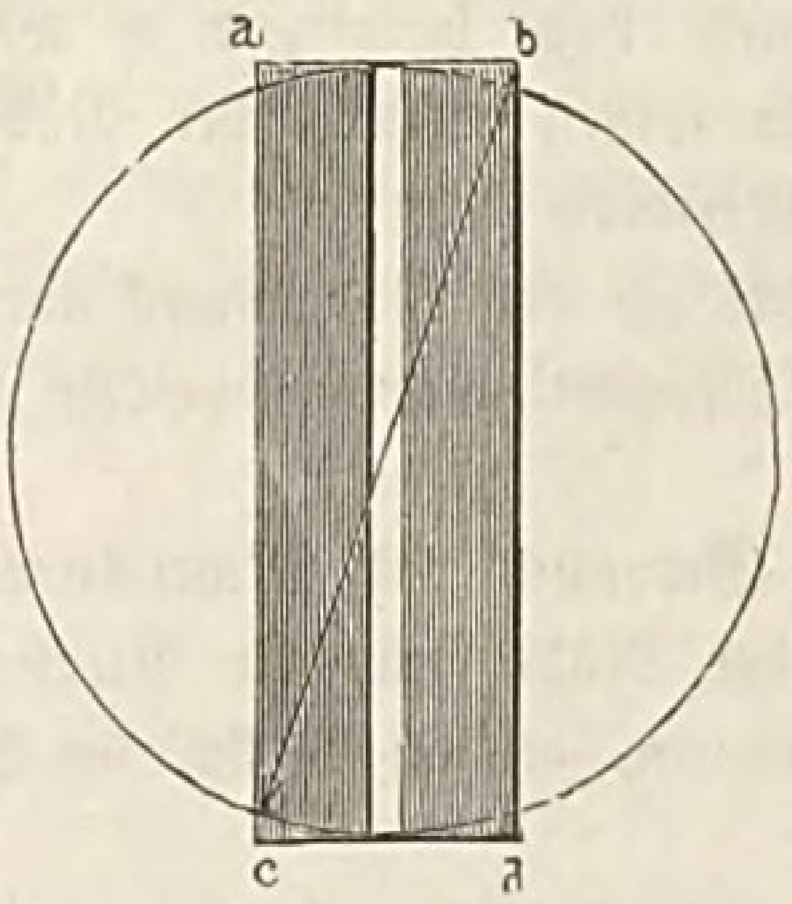
Mit der wachſenden Aſtaſie der Nadeln macht ſich aber auch noch eine Ablenkung der Nadeln durch die Drahtmaſſen geltend, welche die Brauchbarkeit der Inſtrumente ſehr beeinträchtigt. Es hält nämlich ſehr ſchwer, Kupferdraht für die Windungen zu erhalten, welcher abſolut unmagnetiſch iſt. Ganz rein kann man freilich das Kupfer auf galvaniſchem Wege darſtellen, das galvaniſche Kupfer ſoll ſich aber nicht zu ſo feinem Drahte ausziehen laſſen, wie es zu dieſen Multiplicatoren nöthig iſt Außerdem iſt zu bedenken, daß das Kupfer durch das Ziehen ſelbſt ſchon etwas mit Eiſen verunreinigt wird. Kurz, die Drahtmaſſen üben immer eine, wenn auch nur ſehr geringe Anziehung auf die Nadeln aus.

Dieſe Anziehung äußert ſich im Allgemeinen auf folgende Weiſe. Bei geringer Schwingungsdauer des Nadelpaars wird keine Störung durch die Drahtmaſſen fühlbar, die Nadel hält leicht die Nulllinie ein. Bei größerer Aſtaſie bemerkt man meiſtens zuerſt, daß die Stellung der Nadel im Multiplicator nicht mehr völlig mit der außerhalb deſſelben beobachteten übereinſtimmt. Folgt man jetzt der Nadel mit den Windungen, ſo flieht ſie bis zu einer gewiſſen Lage derſelben vor der Nulllinie her, wobei ſich der Winkel zwiſchen ihr und der Nulllinie ſtets verkleinert; überſchreitet man dieſe Gränze, ſo ſchlägt die Nadel plötzlich durch den Nullpunkt durch, und ſucht jenſeits deſſelben eine feſte Gleichgewichtsſtellung. Bei noch mehr ſteigender Aſtaſie verwickeln ſich die Erſcheinungen noch mehr.

Betrachten wir zuerſt den ſtörenden Einfluß, welchen die Drahtwindungen auf ein abſolut aſtatiſches Nadelſyſtem, alſo auf ein ſolches ausüben, welches dem Einfluß des Erdmagnetismus ganz und gar entzogen iſt. Ein ſolches Nadelpaar hat in den Drahtwindungen zwei Stellungen des ſtabilen Gleichgewichts, es ſtellt ſich in die Richtung der einen oder der anderen Diagonalen der Drahtwindungen, wie dies in Fig. 275, ſ. f. S., angedeutet iſt, in welcher *abcd* die Horizontalprojection der Draht-

windungen ungefähr in den Verhältniſſen des Multiplicators darſtellt, mit welchem Du Bois arbeitete.

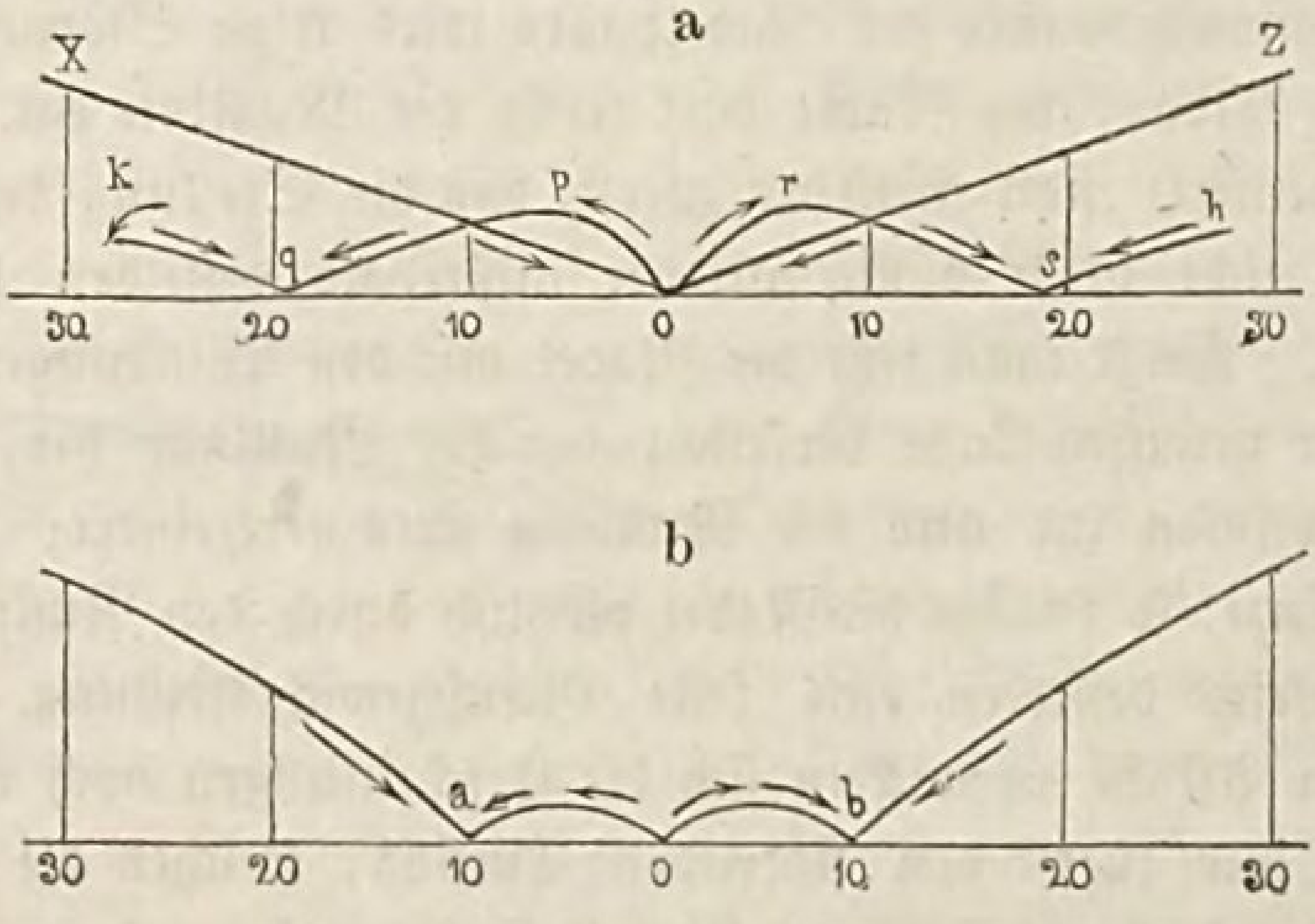
Fig. 275.



Bringt man das abſolut aſtatiſche Nadelpaar aus der Lage *bc* heraus, und zwar nach der einen oder anderen Seite hin, ſo wird es durch die magnetiſche Anziehung der Drahtmaſſen wieder in die Lage *bc* zurückgeführt. Ueber dem Spalt, welcher die beiden Hälften der Drahtwindungen theilt, befindet ſich das Nadelpaar im Zuſtande des labilen Gleichgewichts, denn bei der allergeringſten Verrückung nach der linken, wird es in die Lage *bc* geführt, während es ſich in die Lage *ad* begiebt, wenn die Nadel von dem dem Spalte entſprechenden Punkte nur etwas nach der rechten bewegt wird.

Im Nullpunkt der Theilung iſt alſo die Kraft, mit welcher die Drahtwindungen die Nadel zu drehen ſtreben, gleich Null, d. h. ſie wird gleich ſtark nach der Rechten und nach der Linken gezogen; rechts vom Nullpunkt wird ſie nach der Rechten, links von demſelben wird ſie nach der Linken gezogen. Die Größe der Kraft, mit welcher das Nadelpaar in verſchiedenen Punkten der Theilung durch die Drahtmaſſen afficirt wird, iſt in Fig. 276 durch die Kurve *kqporsh* dargeſtellt, welche Du Bois die

Fig. 276.



ſtörende Kurve nennt. Die Abſciſſen ſind den Graden der Theilung, die Ordinaten ſind der Kraft proportional, mit welcher die Nadel afficirt wird. Die Richtung, nach welcher in den entſprechenden Punkten die Nadel gedreht wird, iſt durch Pfeile angedeutet, welche der ſtörenden Kurve beigeſetzt ſind. *o* entſpricht dem Nullpunkt der Theilung.

Der Punkt *o* iſt alſo der Punkt des labilen Gleichgewichtes, die Nadel wird nach beiden Seiten hin von demſelben weggezogen; in *q* und *s*, welche Punkte bei Du Bois' Multiplicator 19,5⁰ rechts und links vom Nullpunkt liegen (vergl. Fig. 275), ſind die beiden Punkte des ſtabilen Gleichgewichts, denn von beiden Seiten her wird die Nadel in dieſe Lage zurückgetrieben, wenn man ſie etwas aus derſelben entfernt. Ungefähr in den *p* und *r* entſprechenden Punkten iſt die Kraft, mit welcher die Nadeln durch die Einwirkung der Drahtmaſſen gegen die Punkte des ſtabilen Gleichgewichts hingetrieben wird, ein Maximum.

In Betreff der Art und Weiſe, wie für jedes Inſtrument die Geſtalt der ſtörenden Kurve auf dem Wege des Verſuchs gefunden werden kann, muß ich auf das verweiſen, was Du Bois darüber in ſeinem Werke ſagt.

Das Nadelpaar iſt aber außer der magnetiſchen Einwirkung der Drahtmaſſen, auch noch der magnetiſchen Erdkraft unterworfen, welche für ſich allein daſſelbe auf dem Nullpunkt der Theilung zurückzuhalten ſtrebt, und es mit deſto größerer Kraft nach demſelben zurücktreibt, je weiter man es von demſelben entfernt. Im Allgemeinen iſt die Kraft, mit welcher die Erdkraft auf das Nadelpaar wirkt, um ſo geringer, je vollkommner aſtatiſch daſſelbe iſt. In Fig. 276 ſtellen die Ordinaten der Kurven *xo* und *zo* die Kraft dar, mit welcher die Erdkraft das Nadelpaar an den entſprechenden Theilen der Theilung gegen den Nullpunkt hintreibt. Dieſe Kurven *xo* und *zo*, welche ſich auf ein ziemlich gut aſtatiſches Nadelpaar beziehen, ſchneiden die ſtörende Kurve in zwei Punkten.

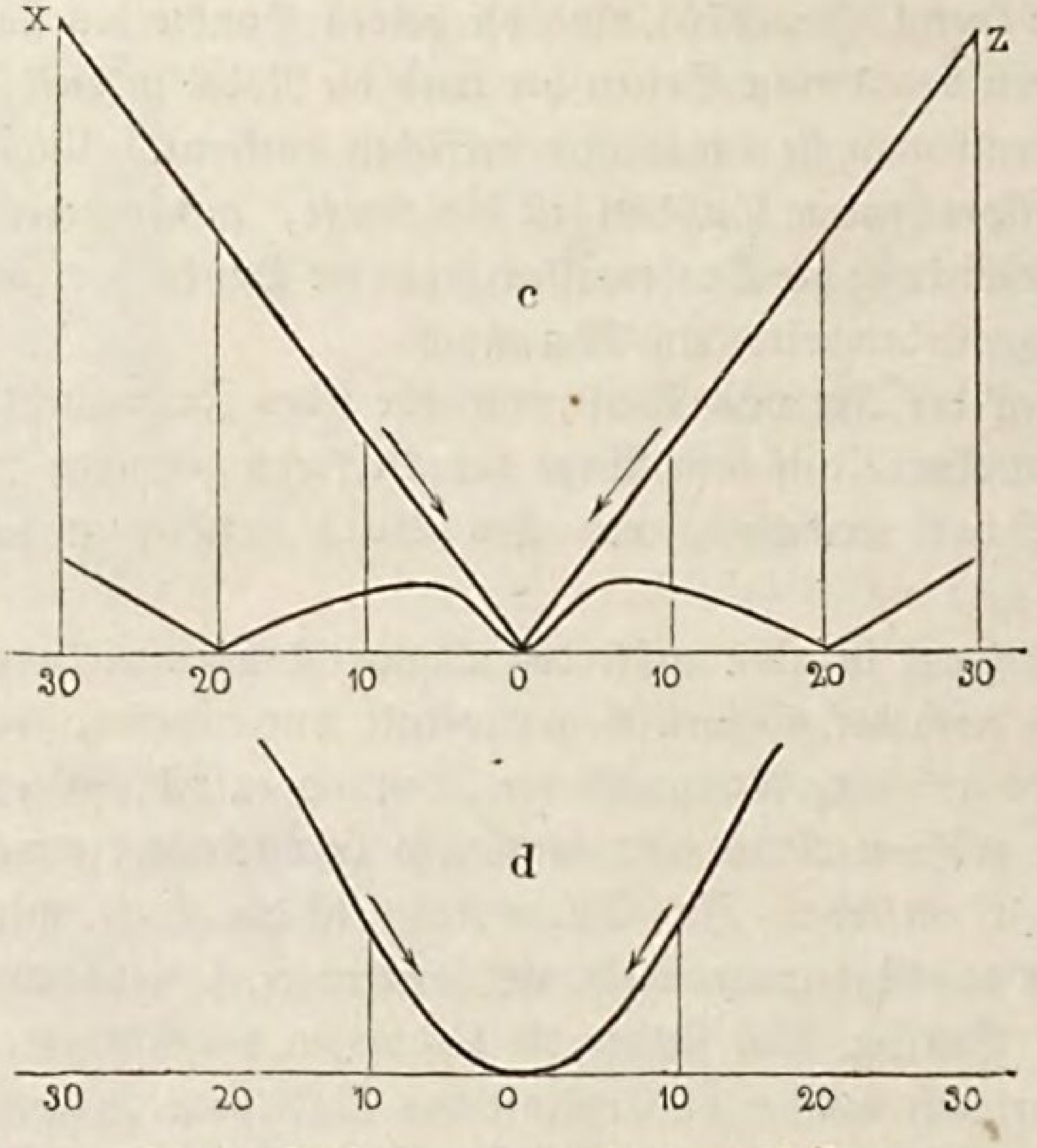
Die Einwirkung, welcher die Nadeln unter dem Einfluſſe der beiden Kräfte ausgeſetzt ſind, wird durch die Kurve Fig. 276 b dargeſtellt, welche durch die Combination der beiden Kurven in Fig. 276 a in der Weiſe gebildet iſt, daß an Stellen der Theilung, wo die beiden Kräfte in gleicher Richtung auf die Nadel wirken, die Summe der beiden Ordinaten aufgetragen iſt, hingegen die Differenz derſelben an ſolchen Stellen, wo die beiden Kräfte die Nadeln nach entgegengeſetzter Richtung afficiren.

Man ſieht, daß auch in dieſem Fall bei *o* nur ein labiles Gleichgewicht ſtattfindet, daß ſich aber auf jeder Seite des Nullpunktes ein Punkt des ſtabilen Gleichgewichtes befindet, nämlich bei *a* und bei *b*.

Iſt das Nadelpaar weniger aſtatiſch, ſo werden die Kurven *xo* und *zo* ſteiler, die Durchſchnittspunkte deſſelben mit der ſtörenden Kurve, alſo auch die Punkte *a* und *b* des ſtabilen Gleichgewichtes rücken mehr gegen den Nullpunkt hin, bis endlich im Nullpunkt ſelbſt ein ſtabiles Gleichgewicht ſtattfindet, Fig. 277 d, ſ. f. S., ſo bald nur die Nadeln ſo wenig aſtatiſch ſind, daß die Kurven *xo* und *zo* ganz über die ſtörende Kurve fallen, wie in Fig. 277 c, ſ. f. S.

Wenn man in Folge des ſtörenden Einfluſſes der Drahtwindungen die Nadel nicht auf dem Nullpunkt der Theilung in ein ſtabiles Gleichgewicht

Fig. 277.



bringen kann, ſo iſt das Inſtrument in dieſem Zuſtande wenigſtens unbrauchbar; es fragt ſich, was man zu thun habe, um den erwähnten ſtörenden Einfluß der Drahtmaſſen entweder aufzuheben oder wenigſtens unſchädlich zu machen.

Da ſich das durchaus eiſenfreie galvanoplaſtiſche Kupfer nicht wohl zu ſo dünnem Drahte ausziehen läßt, wie er zu Multiplicatoren von großem Widerſtand erforderlich iſt, ſo gelingt es nicht leicht, Kupferdraht zu erhalten, welcher nicht zu der erwähnten Störung Veranlaſſung gäbe, wenn der Draht, wie dies gewöhnlich der Fall iſt, durch den Spalt, welcher die eine Nadel hindurch läßt, in zwei Hälften getheilt iſt, wodurch ein Anziehungsmittelpunkt auf jeder Seite der Nulllinie entſteht. Peclet hat deshalb eine von Poggendorff modificirte Vorrichtung angegeben, durch welche es möglich wird, den Spalt ganz zu vermeiden. Kleiner hat, ſtatt den Spalt mit dem Kupferdraht ſelbſt zuzuwickeln, vorgeſchlagen, denſelben nachträglich, wenn die Nadeln an ihrer Stelle ſind, mit paſſend zugerichteten Stücken deſſelben Kupfers auszufüllen, aus welchem die Drähte beſtehen.

Durch dieſe noch in mannichfache Weiſe zweckmäßig variirten Methoden werden gewiſſermaßen die Ordinaten der ſtörenden Kurve zu Null gemacht, man hat alſo nicht nöthig, die Aſtaſie des Nadelpaars zu beſchränken.

Schröder fügt ein Paar $1\frac{1}{2}'''$ lange, dünne Eiſencylinder horizontal in die mittlere Stäbe des Rahmens ein, welche dazu dienen, die Windungen auseinander zu halten, und verſchiebt oder verkleinert dieſe Eiſencylinderchen ſo lange, bis ſie eben ausreichen, um die Nadel in der den Windungen parallele Lage zurückzuhalten (Pogg. Ann. LIV. 60).

Hat man den ſtörenden Einfluß der Drahtmaſſen nicht an und für ſich corrigirt, ſo bleibt nichts übrig, als die Aſtaſie des Nadelpaars ſo weit zu vermindern, daß die Kurve *xoz* zu beiden Seiten von *o* eben über die ſtörende Kurve zu liegen komme. Da es nun aber höchſt ſchwierig ſeyn dürfte, beim Magnetiſiren der Nadeln gerade den richtigen Grad der Aſtaſie zu treffen, ſo muß man die Regulirung derſelben durch einen ſogenannten Berichtigungsſtab bewerkſtelligen. Nobili ſchlug zuerſt vor, ſich eines in einiger Entfernung von dem aſtatiſchen Syſtem paſſend angebrachten Magneten zu bedienen, um die Aſtaſie nach Bedürfniß bald zu mäßigen, bald zu erhöhen. Am gründlichſten hat Melloni die Anwendung des Berichtigungsſtabes ſtudirt und beſchrieben. Stellt man einen Magnetſtab in der Verticalebene der beiden Nadeln, wenn ſie ſich in ihrer Gleichgewichtslage befinden, ſo auf, daß ſeine Axe zuſammenfällt mit der Wagerechten, welche die ſenkrechte Entfernung der beiden Nadeln halbirt, ſo wirkt er mit gleichen aber entgegengeſetzten Kräften auf beide Nadeln und die Aſtaſie des Syſtems bleibt unverändert. Hebt oder ſenkt man den Stab, ſo wirkt er beſchleunigend oder verzögernd auf die Schwingungen des Nadelpaars; man hat auf dieſe Weiſe die Regulirung der Aſtaſie ganz in der Hand. Melloni ſchlägt für den Berichtigungsſtab 200^{mm} Länge und 5^{mm} Durchmeſſer vor; er befeſtigt ihn auf einem Statif, welches auf- und niedergeſtellt werden kann, und welches außerdem vermittelſt eines Gelenkes verſchiedene Neigungen des Stabes gegen den Horizont zuläßt, und ſtellt ihn ſo auf, daß die in der Azimuthebene des Nadelpaars befindliche, gegen den Horizont ungefähr um 45^0 geneigte Stabaxe verlängert, den nächſten Pol des aſtatiſchen Nadelpaares treffen würde.

Du Bois, welcher ſich bei ſeinen Verſuchen meiſtens des Berichtigungsſtabes bediente, hatte ihn in einem Abſtande von 4 Decimetern von der Nadel angebracht.

Um das Durchſchlagen der Nadeln zu verhüten, ſind gewöhnlich an den 90^0 Punkten des Theilkreiſes Stiftchen eingeſetzt, an welchen die obere Nadel anſchlägt, ſobald die Ablenkung bis zu 90^0 wächſt. Du Bois zeigt nun, daß dieſe Form der Hemmung unzweckmäßig iſt, weil das heftige Anſchlagen der Nadeln gegen dieſelben theils ſtarke Schwenkungen hervorbringt, theils auch den Magnetismus der Nadeln gefährdet; er

wandte deshalb zu den Hemmungen mehrfache Coconfäden an, welche von dem Aufhängepunkte der Nadel aus durch kleine, in der Theilung angebrachte Oeffnungen zu beiden Seiten des Rahmens herabhingen und unterhalb des Spielraums der unteren Nadel durch ein Stück Platindraht beſchwert waren. Die Nadel fängt ſich in dieſen Hemmungen auf die angemeſſenſte Weiſe.

Bei einem ſpäter conſtruirten Multiplicator wurden dieſe Fäden durch ganz dünne und alſo ſehr leicht biegſame Glimmerblättchen erſetzt, gegen welche die Nadel anſchlägt.

Was die näheren Details über Conſtruction, Behandlung, Aufſtellung u. ſ. w. des Multiplicators betrifft, ſo muß ich natürlich auf Du Bois' Werk verweiſen.

281 **Darſtellung des Verfahrens, thieriſche Theile mittelſt des Multiplicators auf Stromentwickelung zu unterſuchen.** Nachdem wir nun das Weſentlichſte über den zu thieriſch elektriſchen Verſuchen anzuwendenden Multiplicator beſprochen haben, kommt es nun darauf an, zu ſehen, wie man einen Theil des thieriſchen Körpers, den man auf Stromerregung prüfen will, zwiſchen die Enden des Multiplicatordrahtes einzuſchalten hat, wie man verfahren muß, um ſicher zu ſeyn, daß der am Multiplicator beobachtete Strom auch wirklich von dem thieriſchen Körper erzeugt ſey und nicht irgend andere elektromotoriſche Kräfte hier thätig ſind.

Die Enden des Multiplicatordrahtes werden in der Regel mit Platinplatten verſehen, an welchen der Uebergang des Stroms aus den flüſſigen oder feuchten Theilen der Kette in das Drahtgewinde ſtattfindet Hier iſt es nun vor allen Dingen höchſt wichtig, daß die Platinplatten, ſo weit es nur irgend zu erreichen möglich iſt, gleichartig ſeyen, denn wenn die geringſte Verſchiedenheit zwiſchen den beiden Platten ſtattfindet, ſo iſt dieſe die Urſache einer Stromentwickelung, ſobald man ſie zur Schließung der Kette anwendet; es wird ein Strom entſtehen, ſobald man die Platten z. B. in ein und daſſelbe Gefäß mit Waſſer eintaucht. Wenn man nun einen thieriſchen Körpertheil zwiſchen zwei ſolche ungleichartige Platinplatten einſchaltet, ſo iſt es offenbar zweifelhaft, in wiefern die beobachtete Ablenkung durch den thieriſchen Elektromotor oder durch die Ungleichartigkeit der Platinplatten bedingt iſt.

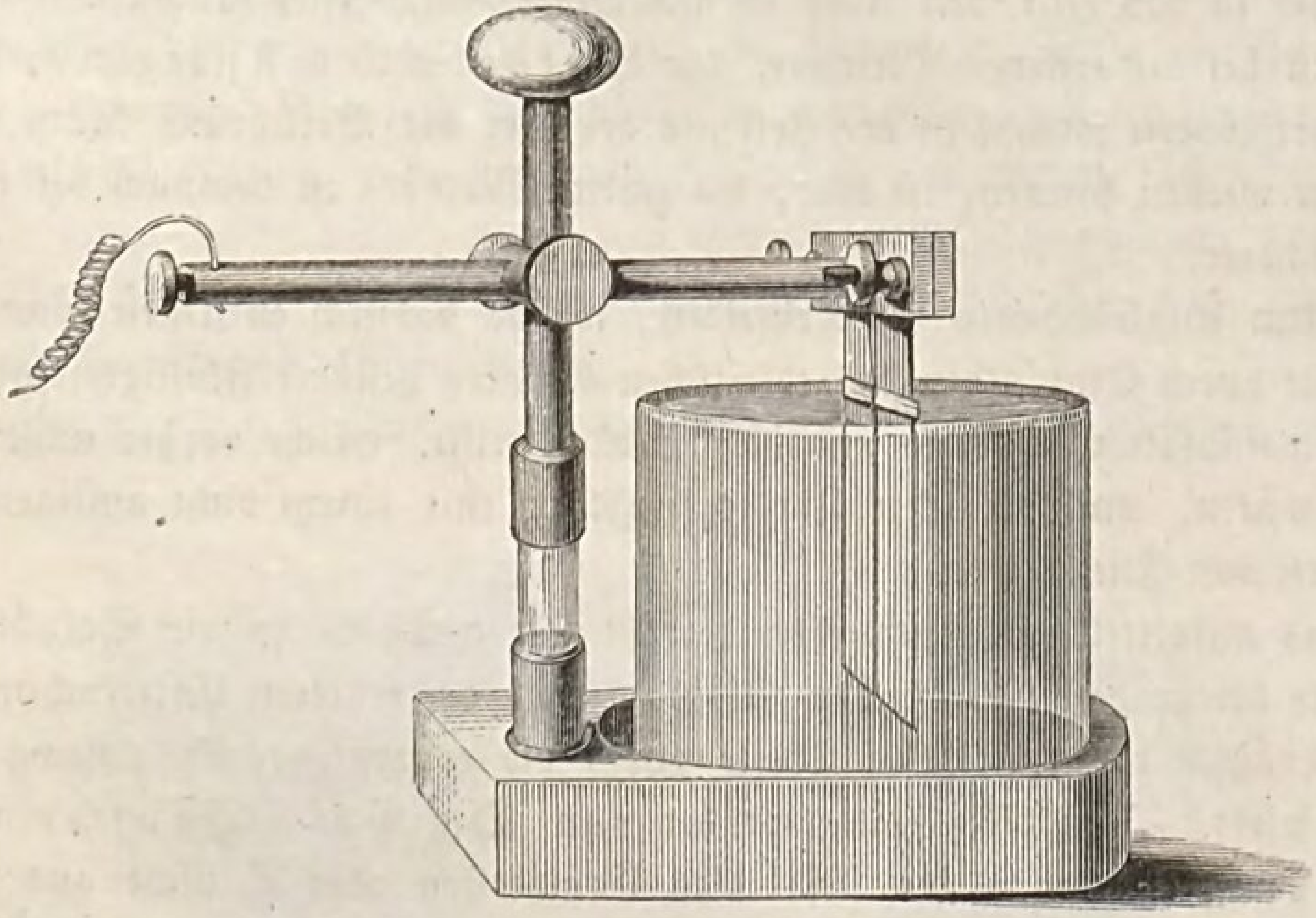
Du Bois reinigt ſeine Platinplatten, indem er ſie der Reihe nach mit Alkohol und Aether, mit Kalihydratlöſung und mit Königswaſſer abwäſcht. Zwiſchen zwei Abwaſchungen werden ſie mit Waſſer abgeſpült und endlich über einer Weingeiſtlampe ausgeglüht.

Wenn aber auch die Platinplatten möglichſt gleichartig gemacht ſind, ſo entſtehen immer noch Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen derſel-

ben in die Flüſſigkeit. Fechner hat bereits in ſeinem klaſſiſchen Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie (welches den dritten Band ſeiner Bearbeitung von Biot's Lehrbuch der Phyſik bildet) auf Seite 466 u. f. zuſammengeſtellt, was damals über die Ströme bekannt war, welche durch ungleichzeitiges Eintauchen ſonſt gleichartiger Metalle entſtehen. Später hat Schröder noch eine ausführliche Unterſuchung über dieſen Gegenſtand in Poggendorff's Annalen publicirt (LIV, 57). Höchſt wahrſcheinlich iſt dieſe Erſcheinung einer Gasſchicht zuzuſchreiben, mit welcher ſich die Platten in der Luft bedecken und welche nach dem Eintauchen in die Flüſſigkeit alsbald verſchwindet. Der in Folge des ungleichzeitigen Eintauchens hervorgerufene Strom verſchwindet aber alsbald wieder, ſobald nur die Platinplatten, welche die Enden des Multiplicatordrahtes bilden, durch eine homogene Flüſſigkeit zur Kette geſchloſſen bleiben. Man kann aber auch nur ſo lange von der Gleichartigkeit der Platten überzeugt ſeyn, als ſie unverrückt in der Flüſſigkeit ſtehen bleiben; der Multiplicator muß alſo durch die Flüſſigkeit fortdauernd geſchloſſen bleiben, was Du Bois in folgender Weiſe bewerkſtelligt:

In ein rundes Glasgefäß, Fig. 278, von 76^{mm} Durchmeſſer, hängen

Fig. 278.



zwei Platinplatten herab, welche mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes in leitende Verbindung gebracht werden. (Du Bois fand, daß man mit zwei ſolchen Platten der Ungleichartigkeiten viel eher Herr wird, als wenn jedes Drahtende des Multiplicators nur mit einer Platte verſehen iſt.) Dieſe Platten ſind in einer Blechklemme gehalten, die ſich am Ende eines horizontalen Meſſingſtabes befindet, der an einem verticalen,

durch ein Glasſäulchen iſolirten Meſſingſtabe auf und nieder, vor- und rückwärts geſchoben werden kann. An dem andern Ende des horizontalen Stabes iſt der eine Zuleitungsdraht des Multiplicators eingeſchraubt.

Dem andern Ende des Multiplicatordrahtes entſpricht ein ganz gleiches Zuleitungsgefäß, in welches zwei Platinplatten in derſelben Weiſe herabhängen. Jedes Platinblech iſt 65,5^{mm} hoch und 26,5^{mm} breit. Die Zuleitungsgefäße werden mit einer concentrirten Löſung von Kochſalz gefüllt und dann die Schließung der Kette dadurch bewirkt, daß die beiden Glasgefäße durch ein gleichfalls mit concentrirter Kochſalzlöſung gefülltes Heberrohr in Verbindung gebracht werden.

Sind nun die Platten auf dieſe Weiſe in die Flüſſigkeit getaucht, bei geſchloſſener Kette gleichartig, ſo handelt es ſich nur darum, die Schließung aufzuheben und zwiſchen ihnen denjenigen Körper einzuſchalten, deſſen elektromotoriſches Verhalten man unterſuchen will. Hier kann man zwei Wege einſchlagen: entweder man hebt die Platten aus der Flüſſigkeit heraus und legt ſie an die thieriſchen Theile an, oder man läßt ſie ruhig in der Flüſſigkeit und bringt die Verbindung der beiden Gefäße nach Entfernung des Heberrohrs mittelſt der thieriſchen Theile zu Stande, welche geprüft werden ſollen, indem man z. B. die Füße des enthäuteten Froſches in das eine, den Kopf in das andere Glasgefäß taucht.

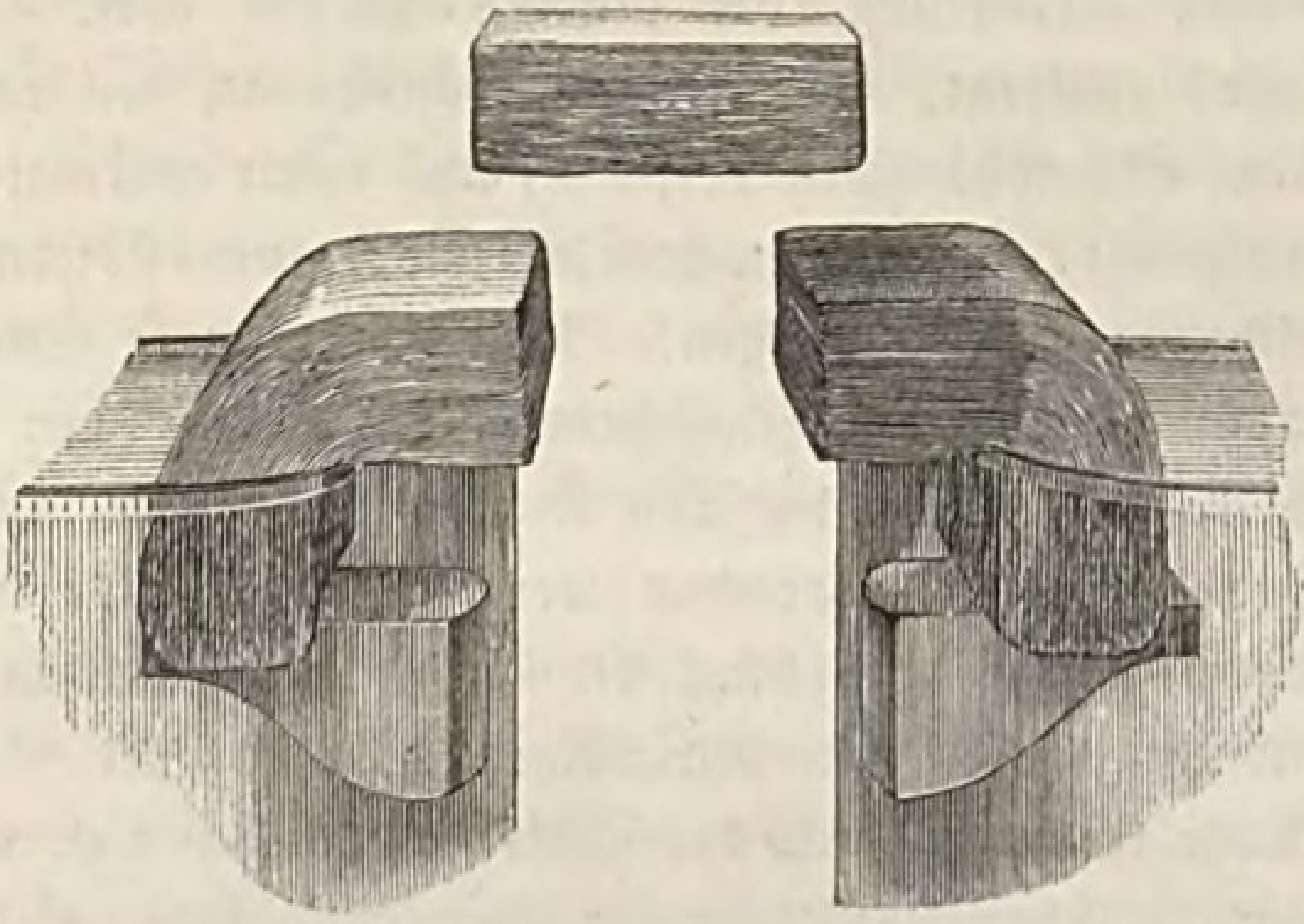
Daß bei der erſteren Methode, der Methode des Anlegens, Ungleichartigkeiten ſowohl in der Zeit als der Art der Berührung kaum vermieden werden können, iſt klar, die zweite Methode iſt demnach bei weitem ſicherer.

Um Ungleichheiten zu vermeiden, welche dadurch entſtehen könnten, daß die durch Eintauchen des thieriſchen Körpers geſtörte Flüſſigkeit gegen die Platinplatten anwogt und hier Stellen trifft, welche vorher nicht benetzt waren, umhüllt Du Bois dieſelben mit einem dicht anliegenden Mantel von Fließpapier.

Das unmittelbare Eintauchen der thieriſchen Theile in die Salzlöſung iſt nur bei gröberen Verſuchen zuläſſig, weil bei feineren Unterſuchungen das Anätzen der thieriſchen Theile durch die concentrirte Salzlöſung ſtörend wirkt. Für dieſe Fälle wendet nun Du Bois Bäuſche von Fließpapier an. Es ſind dies Compreſſen oder Bäuſche aus ſehr vielen Lagen feinen Fließpapiers, welche, mit der geſättigten Salzlöſung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefäße aufgelegt werden, wie Fig. 279 zeigt. Sie ruhen, außer auf dem Rande der Gefäße ſelbſt, innerhalb derſelben noch auf gefirnißten Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläſer angekittet ſind. Man kann dieſe Bäuſche die Zuleitungsbäuſche nennen. Die Schließung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlöſung getränkten Bauſch, den Schließungsbauſch,

bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäuſche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thieriſchen Körper in die Kette einzuſchalten, muß man natürlich erſt den Schließungsbauſch entfernen. Nun

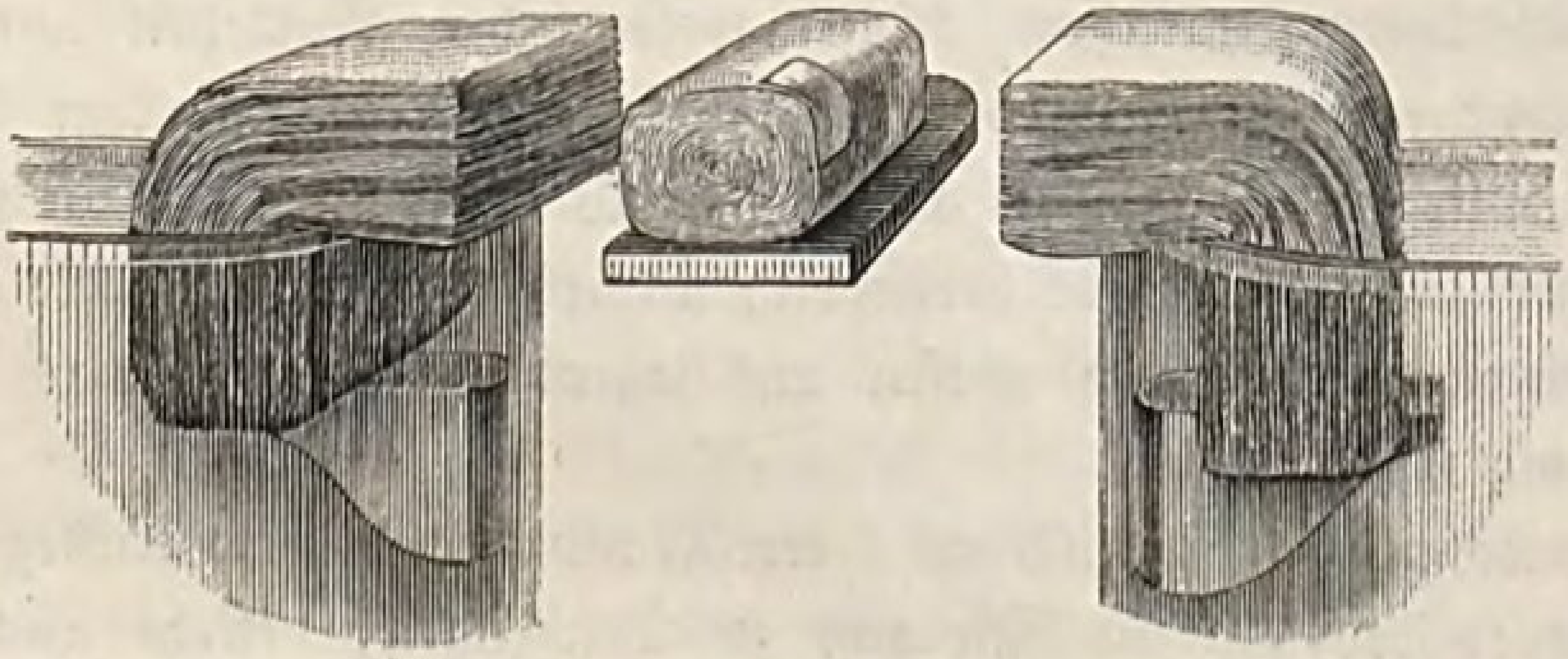
Fig. 279.



darf man aber die thieriſchen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäuſche legen, weil ſonſt das erwähnte Anätzen ſtattfinden würde, welches für ſich ſchon Zuckungen hervorbringen kann. Um dieſe unmittelbare Berührung zu hindern, legt Du Bois an derjenigen Stelle der Bäuſche, wo die thieriſchen Körpertheile applicirt werden ſollen, erſt ein ſogenanntes Eiweishäutchen auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblaſe (20^{mm} lang, 13^{mm} breit), welches in Eiweis vollſtändig aufgeweicht worden iſt. Auf den Bauſch kommt alſo das Eiweishäutchen und auf dieſes erſt der thieriſche Elektromotor.

Zu manchen Verſuchen iſt noch ein Zwiſchenbauſch nöthig, welcher

Fig. 280.



zwiſchen den Bäuſchen der Zuleitungsgefäße in der Weiſe angebracht iſt, wie Fig. 280 zeigt.

Allgemeine Erſcheinungsweiſe der thieriſch elektriſchen Ströme 282
am Multiplicator. Das Schema eines thieriſch elektriſchen Verſuches

am Multiplicator iſt folgendes: Die Multiplicatornadel wird durch den Berichtigungsſtab auf Null gehalten. Die Zuleitungsgefäße mit den Platinplatten ſind ohne den Multiplicator zur Kette geſchloſſen. Jetzt wird der Multiplicator in die Kette aufgenommen, wobei keine oder nur eine unbedeutende Ablenkung der Nadel erfolgen darf. Der Schließungsbauſch wird entfernt, die Zuleitungsbäuſche an den entſprechenden Stellen mit dem Eiweishäutchen verſehen, und dann abermals der Schließungsbauſch aufgelegt, um ſich nochmals von der ungeſtörten Gleichartigkeit der Vorrichtung zu überzeugen. Nach abermaliger Entfernung des Schließungsbauſches wird der Zwiſchenraum zwiſchen den Zuleitungsbäuſchen durch Auflegen des thieriſchen Elektromotors überbrückt, wie dies ſpäter noch ſpecieller wird beſprochen werden. Die erſte nun folgende Nadelbewegung wird als Ausſchlag der Größe und Richtung nach verzeichnet. Beabſichtigt man eine beſtändige Ablenkung der Nadel, ſo läßt man ſie zur Ruhe kommen, was der ſtarken Ladungen halber, die ſich ſogleich auf den metalliſchen Multiplicatorenden entwickeln, viel tiefer ſtattfindet, als man nach dem Ausſchlage zu glauben geneigt ſeyn möchte. Iſt die Wahrnehmung vollendet oder ſollte keine beſtändige Ablenkung abgewartet werden, ſo entferne man raſch den thieriſchen Elektromotor aus der Kette. Legt man nun den Schließungsbauſch wieder auf, ſo erfolgt ein dem früheren entgegengeſetzter Ausſchlag.

Er rührt von einem Polariſationsſtrome her, denn der thieriſch elektriſche Strom, welcher die erſte Ablenkung bewirkte, muß nothwendig eine Polariſation der Platinplatten zur Folge haben, deren Entladung nun durch einen entgegengeſetzt gerichteten Strom ſtattfindet, wie wir dies ſchon Seite 351 geſehen haben.

Die Stärke dieſes ſecundären Stromes iſt der des primären proportional.

Dieſe Bedingungen führen keinen weſentlichen Nachtheil mit, ja ſie können manchen nicht unerheblichen Dienſt leiſten. Vor allem ſtehen ſie als ſichere Bürgen da, daß die beobachtete Wirkung in der That von dem eben entfernten Elektromotor herrührte; unverhältnißmäßig ſtarke oder unerwartet ſchwache Ladungen weiſen auf irgend etwas hin, was nicht in der Ordnung iſt.

Eine gewöhnliche Art, ſich von der Aechtheit der beim Auflegen eines Elektromotors beobachteten Wirkung zu überzeugen, beſteht auch darin, denſelben ſpäter umzulegen, d. h. in verkehrter Richtung aufzulegen; die Wirkung muß alsdann gleichfalls ihre Zeichen ändern. — Man kann ſich aber zugleich des Umlegens und des Ausſchlages der Ladungen bedienen, um ſehr ſchwache Ströme deutlicher ſichtbar zu machen, indem man nämlich das Umlegen ausführt, ohne vorher die Ladungen auszugleichen

oder ihnen Zeit zu laſſen, bei ungeſchloſſener Kette ſich zu ſchwächen. Alsdann ſummiren ſich die Wirkungen des primären und ſecundären Stromes auf die Nadel zu einem viel größerrn Ausſchlage, als der erſte war.

Das phyſiologiſche Rheoſkop. Daß das phyſiologiſche Rheoſkop in 283
Geſtalt des Froſchpräparates mit dem Multiplicator wetteifere, ſo daß noch *Nobili* ihm den Preis zugeſtehen mußte, iſt bereits erwähnt worden; gegenwärtig hat man es jedoch in der Conſtruction der Multiplicatoren ſoweit gebracht, daß man ihm dieſen Vorrang nicht mehr zugeſtehen kann. Deſſenungeachtet iſt das phyſiologiſche Rheoſkop beſonders geeignet, in manchen Fällen wichtige Dienſte zu leiſten, wir müſſen es deshalb auch näher betrachten.

Das phyſiologiſche Rheoſkop erreicht erſt dadurch den hohen Grad von Empfindlichkeit, daß der Strom in einer Strecke ſeiner Bahn auf den Nerven allein angewieſen ſey. Man empfiehlt gewöhnlich, um ſich des Froſches als ſtromprüfenden Mittels zu bedienen, denſelben nach *Galvani's* bekannter Vorſchrift zuzubereiten. *Du Bois* kann dieſem Präparate nur noch einen geſchichtlichen Werth beilegen. Um das Froſchpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, ſich ein möglichſt langes Ende Nerv freiliegend zu verſchaffen; dies iſt bei dem *ſtromprüfenden Froſchſchenkel* der Fall, welcher Fig. 281 abgebildet iſt.

Fig. 281.

Er beſteht aus einem bloßen Unterſchenkel vom Froſch, an welchem der ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten iſt.

Eine wichtige Vorſichtsmaßregel beſteht darin, den ſtromprüfenden Schenkel bis auf die in den zu unterſuchenden Kreis eingeſchaltete Nervenſtrecke ſorgfältig iſolirt zu halten, damit man ſicher ſey, daß weder der eigene Strom des Schenkels, noch ſonſt ein anderer Strom, als derjenige, deſſen Wirkung man eben beobachten will, ſeinen Weg durch den Nerven nehme.

Auf thieriſch elektriſche Verſuche angewandt, bietet das phyſiologiſche Rheoſkop zunächſt den Vortheil dar, daß es das einzige iſt, deſſen Anzeigen ohne Einſchaltung von Metallen in den Kreis gewonnen werden können. Damit fallen die großen Schwierigkeiten weg, mit denen die Her-

ſtellung gleichartiger Metallflächen verknüpft iſt, dagegen iſt das phyſiologiſche Rheoſkop mit mannichfachen Mängeln behaftet. Es entbehrt zunächſt aller Gleichmäßigkeit der Angaben, indem die Reizbarkeit nicht allein bei verſchiedenen Froſchindividuen ſehr ungleich iſt, ſondern auch mit der Jahreszeit variirt und nach dem Tode raſch abnimmt. Das Froſchpräparat antwortet durch Zuckung nur auf den Anfang und das Ende des Stroms, ſo daß es zweifelhaft bleibt, ob man mit einem ſtetigen Strom oder nur mit einer augenblicklichen Entladung zu thun habe. Endlich läßt ſich aus den Zuckungserſcheinungen unter günſtigen Umſtänden zwar ein Schluß auf die Stromesrichtung ziehen, wie wir alsbald ſehen werden, allein dieſe Anzeigen ſind doch ziemlich unſicher.

284 **Allgemeines Geſetz der Nervenerregung durch den elektriſchen Strom.** Es iſt bereits bemerkt worden, daß der ſtromprüfende Froſchſchenkel nur auf das Eintreten und Aufhören des Stroms oder, allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen in der Stromſtärke antwortet, ſich aber während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes ruhig verhält. Dies hat nun Du Bois in präciſer Faſſung als oberſtes Geſetz der elektriſchen Reizverſuche in folgender Weiſe ausgeſprochen.

Nicht der abſolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke iſt es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, ſondern die Veränderung dieſes Werthes von einem Augenblicke zum andern, und zwar iſt die Anregung zur Bewegung, welche dieſen Bewegungen folgt, um ſo bedeutender, je ſchneller ſie bei gleicher Größe vor ſich gingen oder je größer ſie in der Zeiteinheit waren.

Ich will verſuchen, dieſes ſo wichtige Geſetz durch einige graphiſche Darſtellungen zu erläutern und anſchaulich zu machen. Jede der folgenden Figuren zerfällt in zwei Abtheilungen; die untere Kurve ſtellt das Geſetz dar, nach welchem ſich die Stromſtärke mit der Zeit ändert, und zwar ſind die Abſciſſen der Zeit, die Ordinaten der Stromſtärke, d. h. der Stromdichtigkeit, proportional, welche in dem entſprechenden Augenblick die Kette durchläuft. So ſehen wir in Fig. 282 die Stromſtärke ſehr raſch bis zu einer beſtimmten Größe wachſen, welche dann conſtant bleibt, wie man daraus erſieht, daß die untere Kurve nach raſchem Steigen horizontal fortläuft. In Fig. 283 ſieht man die Stromſtärke von Null bis zu derſelben Größe wie Fig. 282, nur etwas langſamer anſteigen.

Die oberen Kurven ſtellen nun die den unteren entſprechende Zuckungswirkung dar. Dieſe hängt von der Steilheit der unteren Kurve ab; da wir das Geſetz dieſer Abhängigkeit noch nicht kennen, ſo muß man, um die Zuckungskurven conſtruiren zu können, hier irgend eine Annahme machen

und zwar wollen wir die Zuckungswirkung einfach als proportional der

Fig. 282.

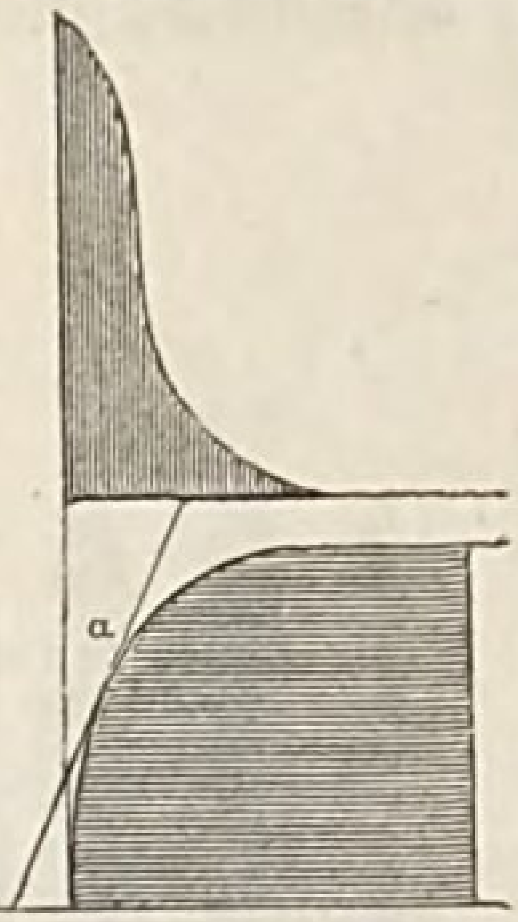
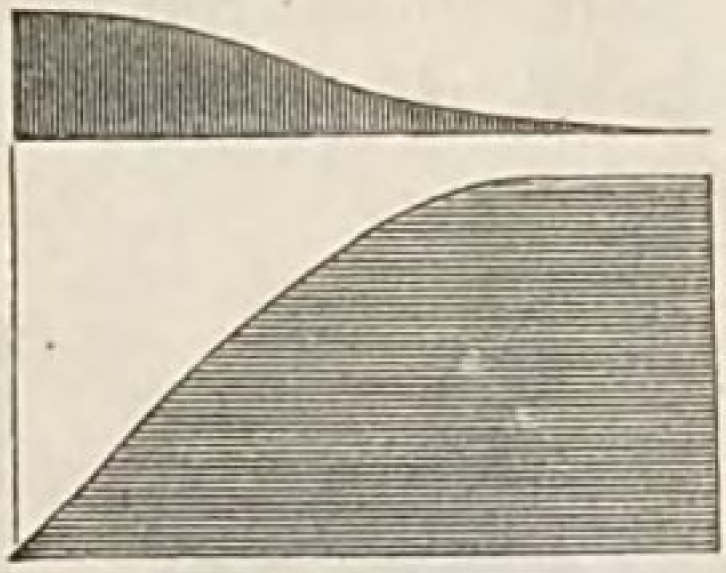


Fig. 283.

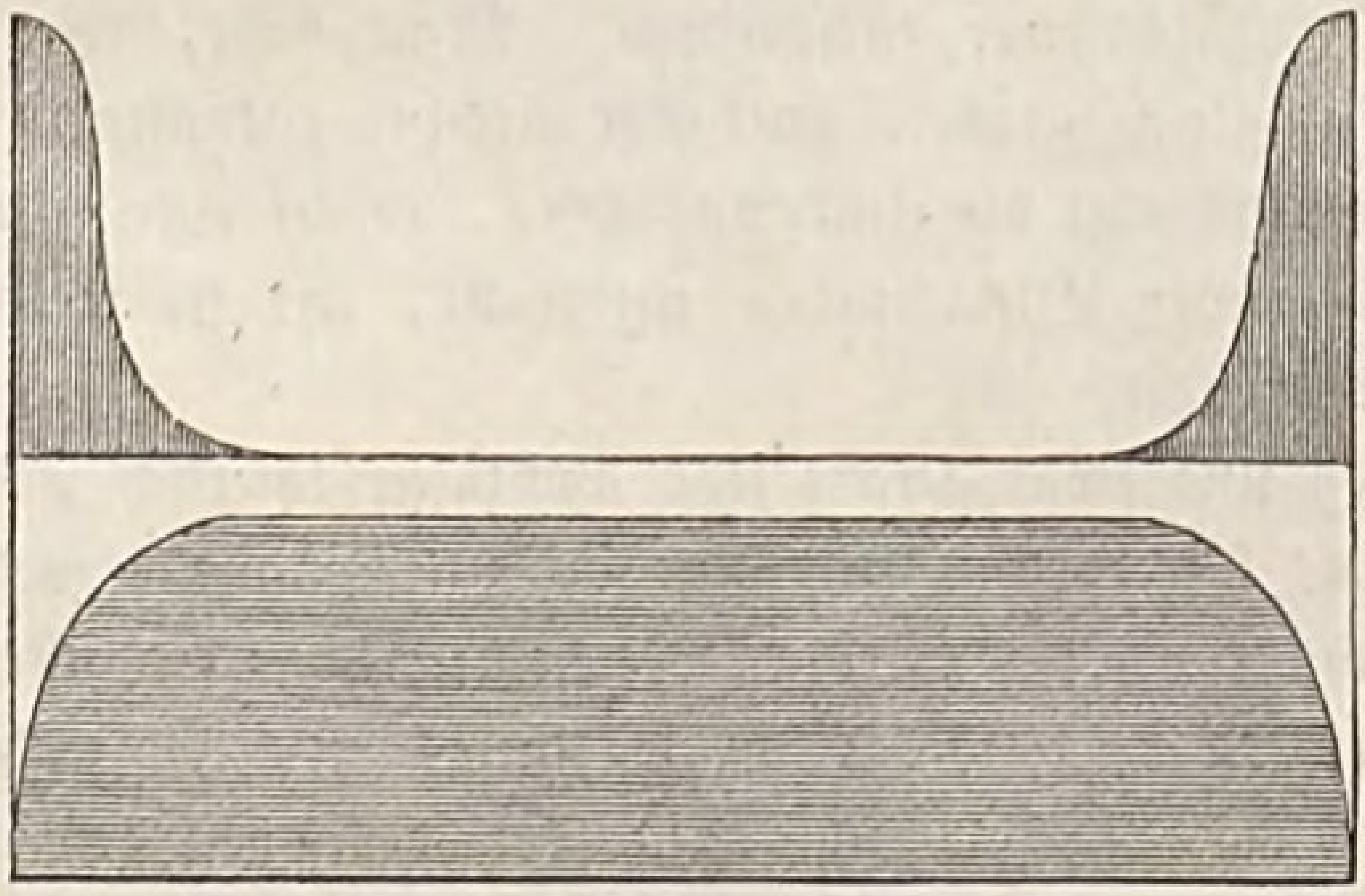


Steilheit der Kurve annehmen, welche die Variationen der Stromſtärke ausdrückt. Denken wir uns in irgend einem Punkte a der Dichtigkeitskurve eine Tangente an dieſelbe gezogen, ſo wird dieſe einen Winkel mit der Abſciſſenaxe machen. Die entſprechende Ordinate der Zuckungskurve iſt nun ſtets der trigonometriſchen Tangente dieſes Winkels proportional aufgetragen und nach dieſem Princip ſind dann die ſämmtlichen Zuckungskurven conſtruirt.

Vergleicht man die Fig. 282 mit Fig. 283, ſo ſieht man, wie der größeren Steilheit der Dichtigkeitskurve, d. h. dem raſcheren Wachſen der Stromſtärke, die ſtärkere Zuckungswirkung entſpricht. Von dem Moment an, wo die Stromſtärke conſtant bleibt, iſt die Zuckungswirkung gleich Null.

In Fig. 284 ſehen wir, wie die Stromſtärke von Null bis zu einer

Fig. 284.



beſtimmten Größe wächſt, dann eine Zeit lang conſtant bleibt, um alsbald wieder auf Null herabzuſinken, wenn der Strom unterbrochen wird. Die Zuckungskurve zeigt uns den Schließungsſchlag und den Trennungsſchlag, während keine phyſiologiſche Wirkung erfolgt, ſo lange die Stromſtärke unverändert bleibt.

In Fig. 285 zeigt uns die Dichtigkeitskurve einen ſtarken Strom, welcher eine Zeit lang unverändert fortdauert, um dann etwas anzuwachſen; hier haben wir nur eine ſchwache Zuckungswirkung während der Zunahme an Stromſtärke.

Fig. 285.

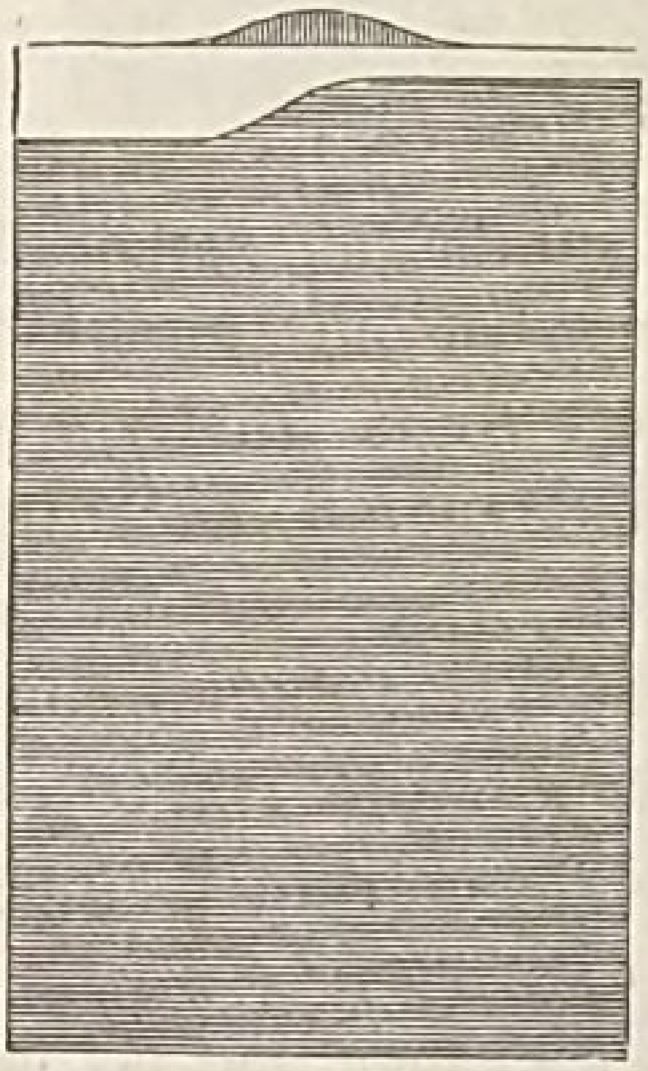


Fig. 286.

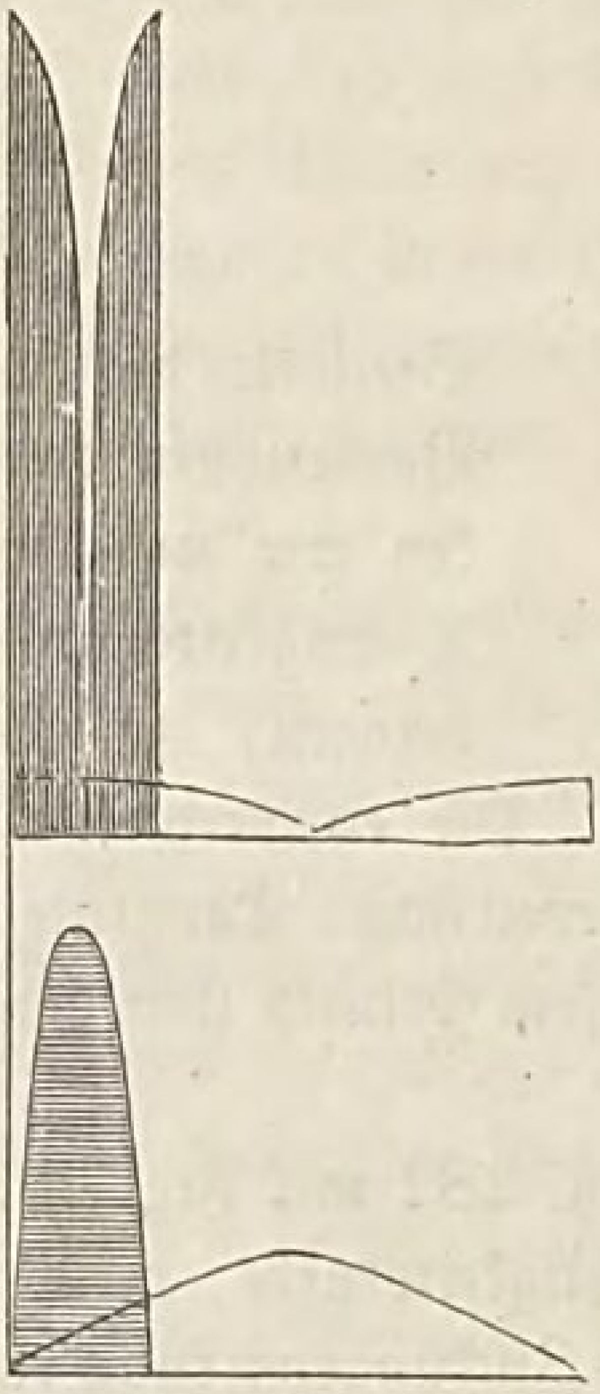


Fig 287.

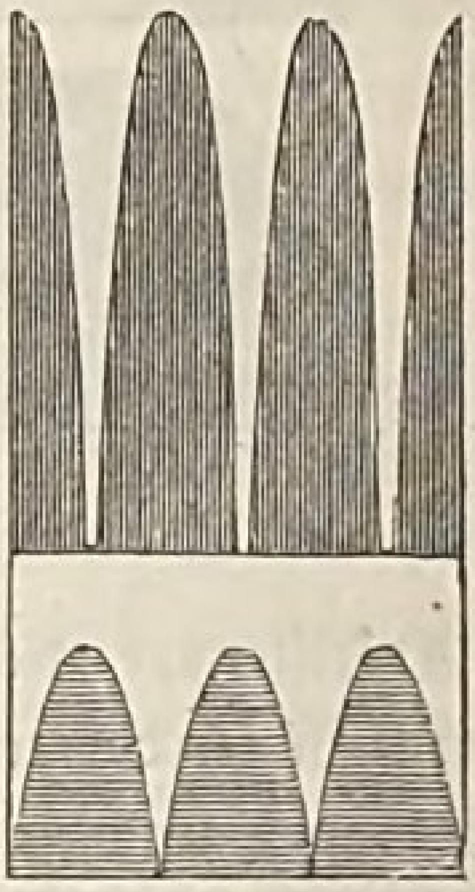


Fig. 286 zeigt uns zwei Dichtigkeits- und zwei entſprechende Zuckungskurven, welche der Entladung (etwa einer Flaſchenentladung) einer und derſelben Elektricitätsmenge entſprechen. Man ſieht, wie der raſcheren Entladung die ungleich größere Zuckungswirkung zukommt.

Fig. 287 endlich zeigt die Zuckungskurve, welche einer Reihe von raſch auf einander folgenden Entladungen entſpricht, wie ſie z. B. bei Inductionsſtrömen ſtattfindet.

Bei mehreren und zwar gerade ſehr wichtigen thieriſch elektriſchen Verſuchen handelt es ſich darum, eine außerordentlich ſchnelle mehr oder weniger große Schwankung der Stromſtärke bemerklich zu machen. Die Beweglichkeit einer Magnetnadel reicht zu dieſem Zwecke nicht mehr aus, während gerade das phyſiologiſche Rheoſkop der oben erwähnten Eigenthümlichkeit wegen in ſolchen Fällen treffliche Dienſte leiſtet, wie wir ſpäter noch in ſpeciellen Fällen ſehen werden.

Nach dieſen Erörterungen wird es wohl nicht zweifelhaft ſeyn, was für ein Urtheil man über diejenigen Unterſuchungen Matteucci's zu fällen hat, welche er in einem Aufſatz: »Mesure sur la force nerveuse développée par le courant électrique« (Annales de Chimie et de Physique

III. Sér. T. XI. pag. 403) veröffentlicht hat und deren Zweck es iſt, eine Beziehung zu ermitteln zwiſchen dem Zinkverbrauch, der zur Hervorbringung eines Stromes nöthig iſt, und der mechaniſchen Wirkung, welche die Zuckung eines Froſchſchenkels hervorbringt, durch deſſen Nerven man jenen Strom leitet. Die Idee, welche dieſen Unterſuchungen zu Grunde liegt, iſt ſo durchaus falſch, daß ein weiteres Eingehen in die Ergebniſſe derſelben völlig überflüſſig iſt.

Vor allen Dingen muß nun bemerkt werden, daß das eben ausgeſprochene Geſetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, ſo ſind ſie ſämmtlich, ſo weit ſie ſich überhaupt dem elektriſchen Strome unterthan zeigen, neben der auf Schwankungen der Dichtigkeitskurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beſtändiger Größe fähig.

Schon Volta ſpricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schließen einer Zinkſilberſäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt iſt der heftig ſtechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautſtellen ſogar im Kreiſe der einfachen Kette verſpürt.

Eben ſo anhaltend iſt der elektriſche Geſchmack.

Was den Geſichtsſinn betrifft, ſo ſcheint Volta nur den Schließungs- und Oeffnungsblitz geſehen zu haben, Ritter hat aber ſchon mittelſt der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelſt Sonden in die Ohren einführt, ſo beobachtet man ein continuirliches Geräuſch u. ſ. w.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fortdauernde Strom gefühlt wird, ſo iſt doch ſelbſt bei dieſen die Wirkung beim Schluß und Oeffnen bedeutend ſtärker, als die continuirliche.

So zeigt ſich denn eine große Aehnlichkeit zwiſchen der Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerſt aufmerkſam gemacht hat.

Von dem Einfluß der Richtung des Stroms in den Nerven auf die Größe der Erregung. 285 An friſch präparirten Froſchſchenkeln, welche noch einen hohen Grad von Erregbarkeit beſitzen, beobachtet man eine kräftige Oeffnungs- und Schließungszuckung, mag nun die Richtung des Stromes die aufſteigende oder die abſteigende ſeyn. Nimmt aber die Erregbarkeit ab, ſo ſieht man je nach der Strömungsrichtung bald die Oeffnungs-, bald die Schließungszuckung ſchwächer werden oder ganz verſchwinden, während ſie bei der entgegengeſetzten Stromrichtung noch vorhanden iſt. Du Bois hat dies Geſetz der Zuckungen folgendermaßen formulirt.

»Man findet in den meiſten Fällen und auf der mittle-
»ren Stufe der Erregbarkeit, daß, je nach der Richtung, in
»welcher der Nerv durchfloſſen wird, bald die Schließungs-
»und bald die Oeffnungszuckung ſtärker ausfällt, ja daß
»nur die eine und die andere garnicht zum Vorſchein kommt.
»Die ſtärkere Schließungszuckung gehört dem Strome
»an, der vom Urſprunge der Nerven nach ihrer Ausbrei-
»tung gerichtet iſt, die ſtärkere Oeffnungszuckung dem ent-
»gegengeſetzt kreiſenden.«

Die einfachſte Art, dieſe Erſcheinung zu zeigen, iſt folgende: Man hängt das Galvani'ſche Präparat auf, wie Fig. 288 zeigt, und läßt jeden Fuß in ein mit Waſſer gefülltes Gefäß herabhängen. Jedoch müſſen, was in der Figur nicht richtig dargeſtellt iſt, die beiden Beine vollſtändig von einander getrennt ſeyn, ſo daß jedes Bein nur an ſeinem Nerven hängt und der Strom nicht von einem Bein in das andere gelangen kann, ohne in dem einen Nerven auf-, im andern abzuſteigen. In dieſe Gefäße werden die Poldrähte einer Galvani'ſchen Kette, etwa eines Bunſen'ſchen Elementes, eingetaucht. Durch Herausnehmen und wieder Einſtecken des einen dieſer Drähte aus dem Gefäß kann man nach Belieben die Kette öffnen und ſchließen. Hat die Empfindlichkeit des Präparats bis zu dem entſprechenden Grade abgenommen, ſo ſieht man beim Schließen nur das eine, beim Oeffnen nur das andere Bein zucken.

Denjenigen Strom, welcher von dem Urſprunge gegen die Ausbreitung der Nerven hin gerichtet iſt, kann man kurz den abſteigenden nennen, während man als aufſteigenden Strom denjenigen bezeichnet, welcher ſich im Nerv von der Ausbreitung gegen den Urſprung hin bewegt.

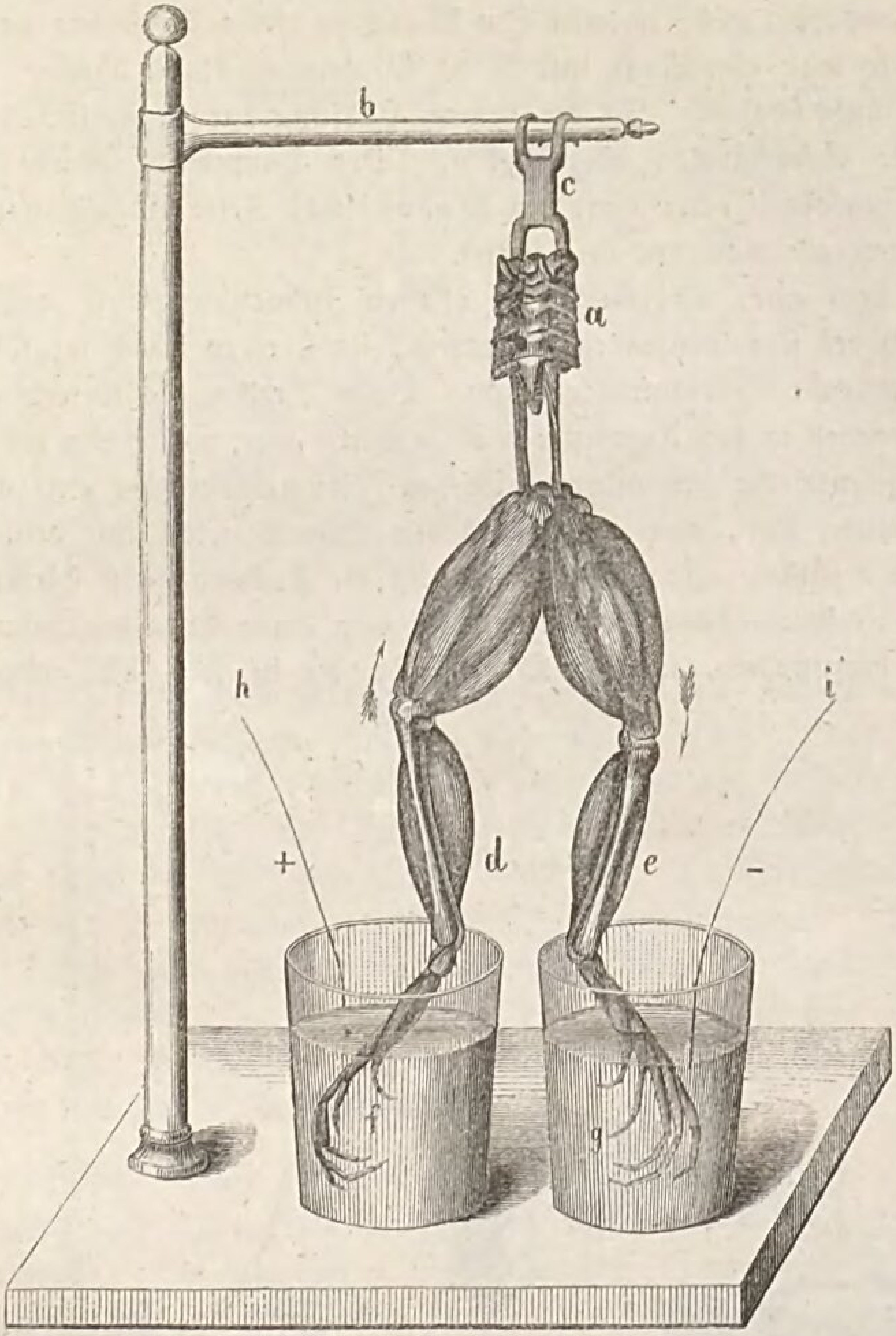
Nach dieſem Geſetze kann man die Richtung eines Stromes ermitteln. Wenn der Schenkel beim Schließen zuckt und nicht beim Oeffnen, ſo hat man mit einem abſteigenden Strome zu thun. Bringt man nun den Nerven in entgegengeſetzter Richtung in die Kette, ſo muß der Schenkel jetzt beim Schließen vergleichsweiſe ruhig bleiben, und zucken, wenn die Kette geöffnet wird.

Die Angaben über Stromesrichtung durch Zuckungen ſind jedoch keineswegs ſo ſicher und präcis, wie diejenigen des Multiplicators, indem häufige Unregelmäßigkeiten vorkommen.

Die erſte mit dem eben erwähnten Zuckungsgeſetz in Beziehung ſtehende Beobachtung wurde ſchon von Volta gemacht und zwar zu einer Zeit, wo er ſich noch zur Galvani'ſchen Anſicht über die Urſache der Zuckung des Froſchſchenkels bekannte. Wie wir bereits Seite 772 geſehen haben,

hat er aber den wahren Zuſammenhang ſeiner Beobachtung noch nicht erkannt, ſondern ihm eine unrichtige Deutung gegeben.

Fig. 288.



Als der eigentliche Entdecker der hier in Rede ſtehenden Gruppe von Thatſachen iſt Pfaff zu nennen, der bereits in den Jahren 1793—1795 eine ausführliche und tiefgehende Darſtellung derſelben gab. Weitere Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand ſtellten Ritter, Marianini, Nobili, Matteucci und Andere an. Du Bois berichtet ſehr ausführlich über dieſe Arbeiten, er ſelbſt hat über dieſen Gegenſtand noch keine experimentellen Unterſuchungen angeſtellt.

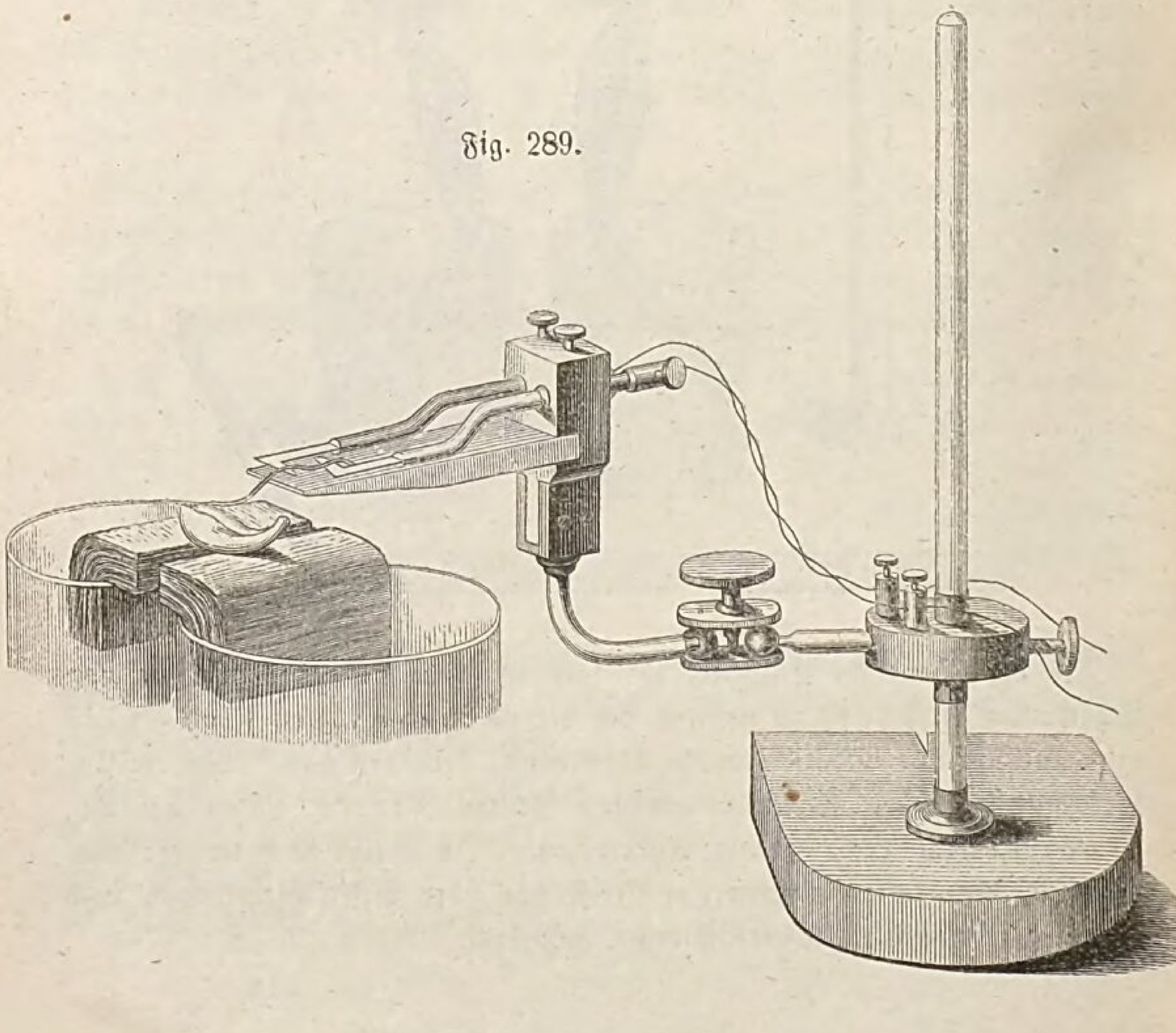
286 **Unipolare Inductionszuckungen.** Es iſt dieſer Erſcheinung bereits früher Erwähnung geſchehen, wir wollen ſie jetzt näher kennen lernen.

Ein 2^mm^ dicker Kupferdraht, welcher in 32 Windungen auf eine Pappröhre von 65^mm^ Durchmeſſer gewunden war, bildete den Hauptdraht des Inductionsapparates, welchen Du Bois zu dieſen Verſuchen anwandte. Auf dieſe war eine Rolle mit 3220 Windungen eines dünnen Kupferdrahtes aufgeſchoben. In die innere Höhlung der Hauptſpirale waren gefirnißte Eiſenſtäbchen eingeſchoben. Der Hauptdraht wurde in den Schließungsbogen einer einfachen Grove'ſchen Kette eingeſchaltet. Die Inductionsrolle war ſorgfältig iſolirt.

Mit dem einen Drahtende der offenen Inductionsſpirale wurde nun der Nerv des ſtromprüfenden Schenkels, im übrigen jedoch ſorgfältig iſolirt, in leitende Verbindung gebracht. Beim Drehen des Unterbrechungsrades, welches in den Hauptſtrom eingeſchaltet war, zuckte nun der Schenkel, wenn entweder das andere Ende des Inductionsdrahtes gut zum Boden abgeleitet war, oder wenn man den Schenkel ſelbſt mit dem Finger ableitend berührte. In letzterem Falle iſt die Zuckung meiſt ſtärker.

Um die Verbindung der Nerven mit dem einen Ende des Inductionsdrahtes herzuſtellen, wandte Du Bois die in Fig. 289 abgebildete

Fig. 289.



Vorrichtung an, die wir ſpäter noch genauer werden kennen lernen. Das ganze Statif ſtand auf einer wohl iſolirenden Unterlage. Der Nerv des ſtromprüfenden Schenkels war auf eines der Platinſchäufelchen aufgelegt, welche die Figur zeigt, während das andere zurückgezogen war.

Hat man einen Froſchſchenkel, der ſich auf der geeigneten Stufe der Erregbarkeit befindet, ſo iſt es leicht, mittelſt des im vorigen Paragraphen beſprochenen Geſetzes der Zuckungen die Art der Elektricität zu beſtimmen, welche den Schenkel durchfließt, wobei jedoch die Oeffnung und Schließung des Hauptſtroms natürlich nicht allzu raſch auf einander folgen dürfen. Man ſieht den Schenkel dann entweder nur bei der Schließung oder nur beim Oeffnen der Kette zucken. Sind beide Enden des Inductionsdrahtes mit ſolchen Froſchſchenkeln verſehen, ſo zucken ſie *complementär*, d. h. der eine zuckt, wenn der andere ruhig bleibt, und umgekehrt. Dabei gilt die Regel, denjenigen Schenkel ableitend zu berühren, der nach dem Geſetz der Zuckungen in Ruhe bleiben ſoll.

Zurückführung des Froſchſtromes auf einen allgemein vor- 287
handenen Muskelſtrom. Die Art und Weiſe, wie man mit den von *Du Bois* angegebenen Vorrichtungen den Strom des Geſammtfroſches nachweiſt, iſt folgende: Die Zuleitungsgefäße ſind ohne Bäuſche und die Kette iſt durch das Schließungsrohr geſchloſſen. Die Platinplatten ſind möglichſt weit in den Hintergrund der Gläſer zurückgezogen. Der enthäutete Froſch wird mit den Füßen bis zur Mitte des Tarſus in das eine Gefäß getaucht, der Rücken gegen das andere Glas hin gewendet; dann wird der Froſch rücklings mit dem Geſicht und der Naſenſpitze behutſam in das andere Gefäß gebracht.

Augenblicklich verläßt die Nadel den Nullpunkt und fliegt bei einem hinlänglich empfindlichen Multiplicator, wie der *Du Bois*'ſche iſt, gegen die Hemmung. Sie zeigt einen Strom im Froſch von den Füßen zum Kopf, im Multiplicatordraht vom Kopf zu den Füßen, alſo einen aufſteigenden Strom.

Die Nadel kommt alsbald zwiſchen 10 und 20° zur Ruhe. Von hier an nimmt die Ablenkung langſam ab und hält ſich ſtunden-, ja tagelang innerhalb der erſten 5—8°.

Wird der Froſch entfernt und ſtatt deſſen das Schließungsrohr eingeſetzt, ſo fliegt aus bekannten Gründen die Nadel an die entgegengeſetzte Hemmung u. ſ. w.

An dieſen Fall ſchließt ſich der zuerſt von **Nobili** am Multiplicator beobachtete Strom des **Galvani**'ſchen **Präparates** an.

Man rückt die Gläſer näher und muß nun natürlich auch ein kürzeres Schließungsrohr anwenden. Man taucht die Füße wieder in das eine Gefäß und drückt behutſam das Stück Wirbelſäule in das andere Glas nieder. Im Moment, in welchem die Wirbelſäule die Oberfläche des Salzwaſſers berührt, erfolgt der Ausſchlag der Nadel, während gleichzeitig das Präparat zuckt.

Den gleichen Erfolg am Multiplicator erhält man, wenn man die hintern Extremitäten allein, nach Wegſchneiden der Nerven zu dieſem Verſuch anwendet. Der Ausſchlag wird aber jetzt etwas ſtärker, weil der nicht unbedeutende Leitungswiderſtand der Nervenſtämme fehlt, dagegen bleibt die Zuckung aus.

Auch **Matteucci** bediente ſich der unteren Extremitäten als Element ſeiner Froſchſäulen; er läßt aber ſtets den nicht nur unnützen, ſondern wegen Vergrößerung des Leitungswiderſtandes und aus ſonſtigen Gründen ſogar ſchädlichen Anhang der Nervenſtämme und eines Stückes Wirbelſäule, obſchon er dadurch gezwungen wurde, auf Anwendung einer beſſern leitenden Flüſſigkeit zu verzichten, weil dieſe durch Anätzen der Nerven ſtörend wirkt.

Der Rumpf für ſich gab in derſelben Richtung einen, wenngleich ſchwächeren Strom. Ein aus den vorderen Extremitäten gemachtes, dem **Galvani**'ſchen entſprechendes Präparat giebt einen Ausſchlag von 40°; der Strom iſt in den thieriſchen Theilen von den Pfoten nach dem Bruſt- und Schultergerüſt gerichtet.

Das einzelne Bein und der einzelne Arm giebt ebenfalls einen Strom, wenngleich ſchwächer, doch ſtets in gleicher Richtung.

Du Bois wandte ſich nun zur Unterſuchung anderer Thiere, da es undenkbar iſt, daß, wie **Matteucci** noch lange glaubte, der Froſch allein mit einem ſolchen Strome begabt ſeyn ſollte.

Die oben beſchriebenen Verſuche ſind ſämmtlich mit rana esculenta angeſtellt worden, welcher in der Regel zu phyſiologiſchen Verſuchen verwendet wird. Gleiche Reſultate, nur ſchwächere, geben andere Froſcharten, noch ſchwächer wirken Kröten, welche, wie bereits **Humboldt** bemerkte, auch durch ihre Trägheit im Antworten auf **Galvani**'ſche Reizung ausgezeichnet ſind.

Salamandra maculata und Lacerta agilis gaben Ströme. Das Bein einer Taube gab einen abſteigenden, der bloße Unterſchenkel hingegen einen aufſteigenden Strom, und zwar wirkt derſelbe ſtärker, als vorher das ganze Bein.

Ein Kaninchenbein giebt einen ſchwach aufſteigenden Strom u. ſ. w.

Derſelbe Strom, welcher bei den eben beſprochenen Verſuchen Nadelablenkungen bewirkt, bringt auch phyſiologiſche Wirkungen hervor, und dieſe ſind ja bereits von Galvani ſchon beobachtet worden. Du Bois's Vorrichtungen ſind nun ſehr geeignet, auch die Zuckungen mit Sicherheit und frei von fremden ſtörenden Einflüſſen zu beobachten, welche durch die Ströme des thieriſchen Körpers und ſeiner Theile hervorgebracht werden.

Der Strom des Geſammtfroſches kann dieſen nicht ſelbſt in Zuckung verſetzen, weil er an keiner Stelle auf die Nerven allein angewieſen iſt, weil er alſo in den Nerven nie die Dichtigkeit erreichen kann, welche nöthig iſt, um eine Zuckung zu veranlaſſen. Soll der Strom des Geſammtfroſches eine phyſiologiſche Wirkung hervorbringen, ſo muß man ſich des ſtromprüfenden Froſchſchenkels als Rheoſkop bedienen. Die Anordnung des Verſuchs iſt folgende: In dem einen Zuleitungsgefäß iſt ein Bauſch angebracht; 10^{mm} davon befindet ſich der Zwiſchenbauſch; der Zwiſchenraum zwiſchen beiden iſt durch ein Stück des Nerven des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt, der natürlich vor der Berührung mit dem Salzwaſſer durch Eiweishäutchen geſchützt ſeyn muß. Die Füße des Froſches werden nun in das andere Gefäß eingetaucht, in welchem ſich kein Bauſch befindet, und das Thier rücklings niedergebogen. In dem Augenblick, in welchem die Naſenſpitze den Zwiſchenbauſch berührt, zuckt der ſtromprüfende Schenkel, der natürlich noch auf dem Gipfelpunkte ſeiner Erregbarkeit ſtehen muß. Gleichzeitig erfolgt ein Ausſchlag der Multiplicatornadel.

Beim Gebrauche des Galvani'ſchen Präparates mit ſeinen Nervenſtämmen und dem Stück Wirbelſäule wird der Zwiſchenbauſch und der ſtromprüfende Froſchſchenkel entbehrlich, es dient ſeinem eigenen Strome als Rheoſkop; am beſten macht man den Verſuch auf folgende Weiſe. Die Füße des Präparates tauchen in das eine Glas, das Becken wird auf eine paſſende Art unterſtützt, und das Stück Wirbelſäule ruht in ſolcher Entfernung, daß die Nervenſtämme ſchlaff herunterhängen auf dem mit Blaſe überzogenen Bauſche des anderen Gefäßes. In dem metalliſchen Theile des Kreiſes, in welchem der Multiplicator auch ganz fehlen kann, befindet ſich eine Lücke und hier wird mittelſt eines Queckſilbernäpfchens die Kette nach Belieben geöffnet oder geſchloſſen, wobei denn die Zuckungen erfolgen. Die Oeffnungszuckung wird jedoch nur ſelten wahrgenommen.

Dieſe Anordnung iſt die vollendetſte Form des Galvani'ſchen Verſuchs mit gleichartigem Metallbogen.

Um die Zuckung ohne Metalle durch den Strom des Geſammtfroſches hervorzubringen, gebraucht Du Bois folgenden Kunſtgriff: er wendet drei Gläſer mit Salzwaſſer und zwei Fröſche an. Die Gläſer ſind ſo zuſammengeſtellt, daß ſie ein gleichſchenkliges Dreieck bilden. Bezeichnen

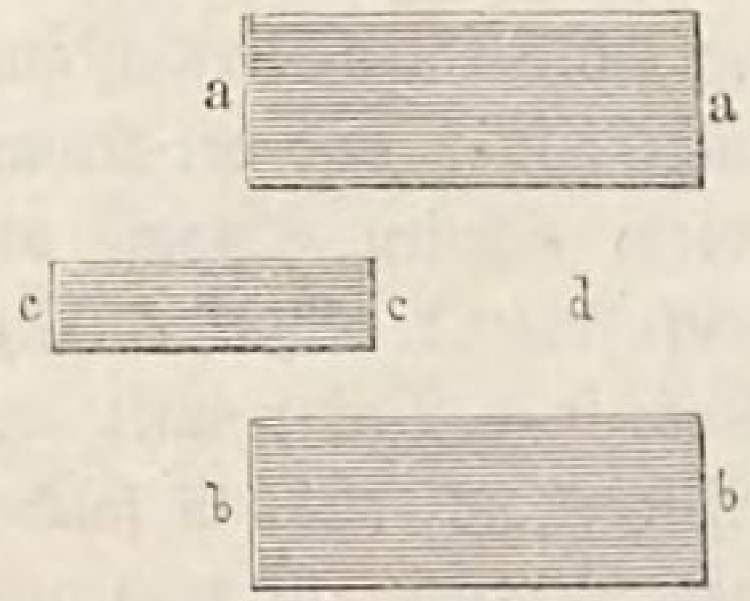
wir mit a und b die beiden Gläſer, welche die kürzere Seite dieſes Dreiecks bilden, ſo ſind dieſe mit Bäuſchen verſehen, ſo daß der Zwiſchenraum zwiſchen denſelben mit dem Nerv des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt werden kann. Der eine Froſch bildet nun die Verbindung von a und dem dritten Gefäße c, der andere von b und c und zwar ſo, daß in c der Kopf des einen und die Füße des anderen Froſches eingetaucht ſind. In dem Augenblick, in welchem durch den zweiten Froſch die Kette geſchloſſen wird, zuckt der Schenkel.

Es iſt hier der combinirte Strom beider Fröſche, welcher die Zuckung bewirkt.

Um die Zuckung ohne Metalle mit dem Galvani'ſchen Präparat zu erhalten, iſt das folgende, ſchon von Nobili angewandte Verfahren das zweckmäßigſte. Zwei Präparate werden auf einer iſolirenden Unterlage ſo neben einander gelegt, daß ſie einen einzigen Kreis bilden, in welchem der vereinigte Strom beider wirkſam iſt; hierbei müſſen die Nerven eines jeden Präparates auf die Muskeln des anderen gelegt werden.

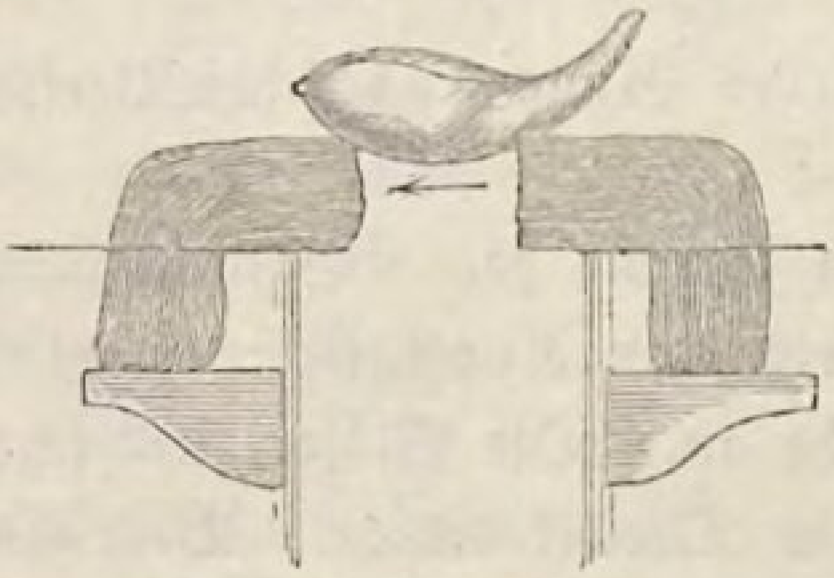
Um durch den Strom, welchen, wie wir bald ſehen werden, der Gaſtroknemius des Froſches liefert, ohne Metalle den ſtromprüfenden Schenkel zum Zucken zu bringen, kann man folgendes Verfahren anwenden. Zwiſchen zwei Bäuſchen, *a* und *b* Fig. 290, iſt der Zwiſchenbauſch *c* auf der einen Seite ſo eingeſchoben, daß auf der anderen Seite der ganze Zwiſchenraum zwiſchen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwiſchenraum zwiſchen *a* und *c* wird durch den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels, der zwiſchen *b* und *c* durch den Gaſtroknemius in geeigneter Weiſe überbrückt, und dann die Kette dadurch geſchloſſen, daß man auf der anderen Seite bei *d* die leitende Verbindung zwiſchen *a* und *b* mittelſt eines Schließungsbauſches herſtellt. In demſelben Augenblick, wo dies geſchieht, zuckt der ſtromprüfende Schenkel.

Fig. 290.



288 **Von dem Muskelſtrome.** Schneidet man den großen Wadenmuskel (Gastroknemius) des Froſches, ohne das Fleiſch deſſelben zu verletzen, an dem oberen und unteren ſehnigen Ende los und legt ihn, wie Fig. 291 zeigt, auf die Bäuſche, ſo verläßt augenblicklich die Nadel den Nullpunkt, und fliegt, einen Strom im Muskel von der Achillesſehne zum

Fig. 291.



Kopfe, alſo in derſelben Richtung anzeigend, wie in allen bisher unterſuchten Theilen des Froſches, wider die Hemmung. Daſſelbe leiſtet der große Unterſchenkelſtrecker (extensor cruris) an der vorderen Fläche des Oberſchenkels.

Beim Auflegen verſchiedener Oberſchenkelmuskeln des Froſches auf's Gerathewohl, ſtößt man zunächſt auf ein völlig regelloſes Gewirre von Erſcheinungen. Von dem einen nämlich erhält man gar keine Wirkung, von dem anderen Wirkung in aufſteigendem, von noch anderen in abſteigendem Sinne. Nicht genug, auch ein und derſelbe Muskel giebt, je nachdem man ihn auflegt, dieſelben wechſelnden Erfolge. Daſſelbe iſt der Fall für die Muskeln anderer, ſowohl warm- als kaltblütiger Thiere.

Daraus geht hervor, daß auch wohl bei verſchiedenen Muskeln die Verſchiedenheit der Wirkungsweiſe auf der Veränderung der Bedingungen beruhen dürfte, unter denen die Ströme von ihnen gewonnen werden, da es doch wahrſcheinlich iſt, daß ſie alle nach einem und demſelben Geſetz elektromotoriſch wirken. — Der Froſchſtrom und die ihm entſprechenden thieriſch elektriſchen Ströme ſind nun auf einen allgemeinen *Muskelſtrom* zurückgeführt; wir dürfen ſie bis auf Weiteres als die Reſultanten aus den verſchieden gerichteten und verſchieden ſtarken Partialſtrömen betrachten, welche im Innern der thieriſchen Glieder von den einzelnen Muskeln ausgehen. Die ſcheinbare Beſtändigkeit der aufſteigenden Strömungsrichtung am Froſche iſt ſomit in eine bloße Zufälligkeit aufgelöſt.

Um das Geſetz des Muskelſtromes zu finden, unterſuchte nun *Du Bois* das Verhalten eines und deſſelben Muskels bei veränderter Art des Auflegens auf die Bäuſche. Er wählte dazu vorzugsweiſe ſolche Muskeln, welche meiſt gar keinen Strom geben, wenn ſie mit ihren ſehnigen Enden die Bäuſche berühren, wie Fig. 292 darſtellt. Um den Muskel auf dieſe Weiſe zwiſchen die Bäuſche bringen zu können, wird er von einer vorn zugeſpitzten Glasplatte getragen, wie man Fig. 293 ſieht. Dieſe Glasplatte iſt an einem paſſenden Statif befeſtigt.

Fig. 292.

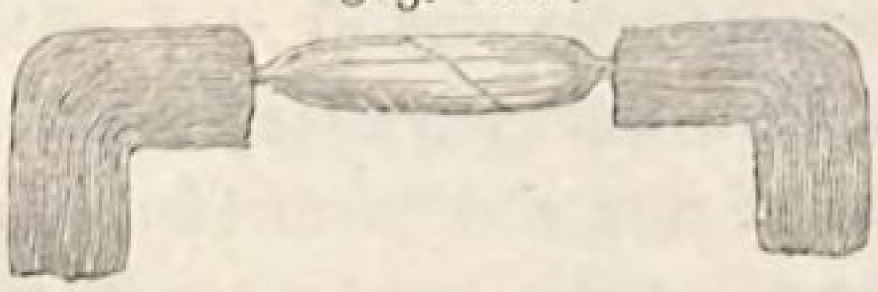
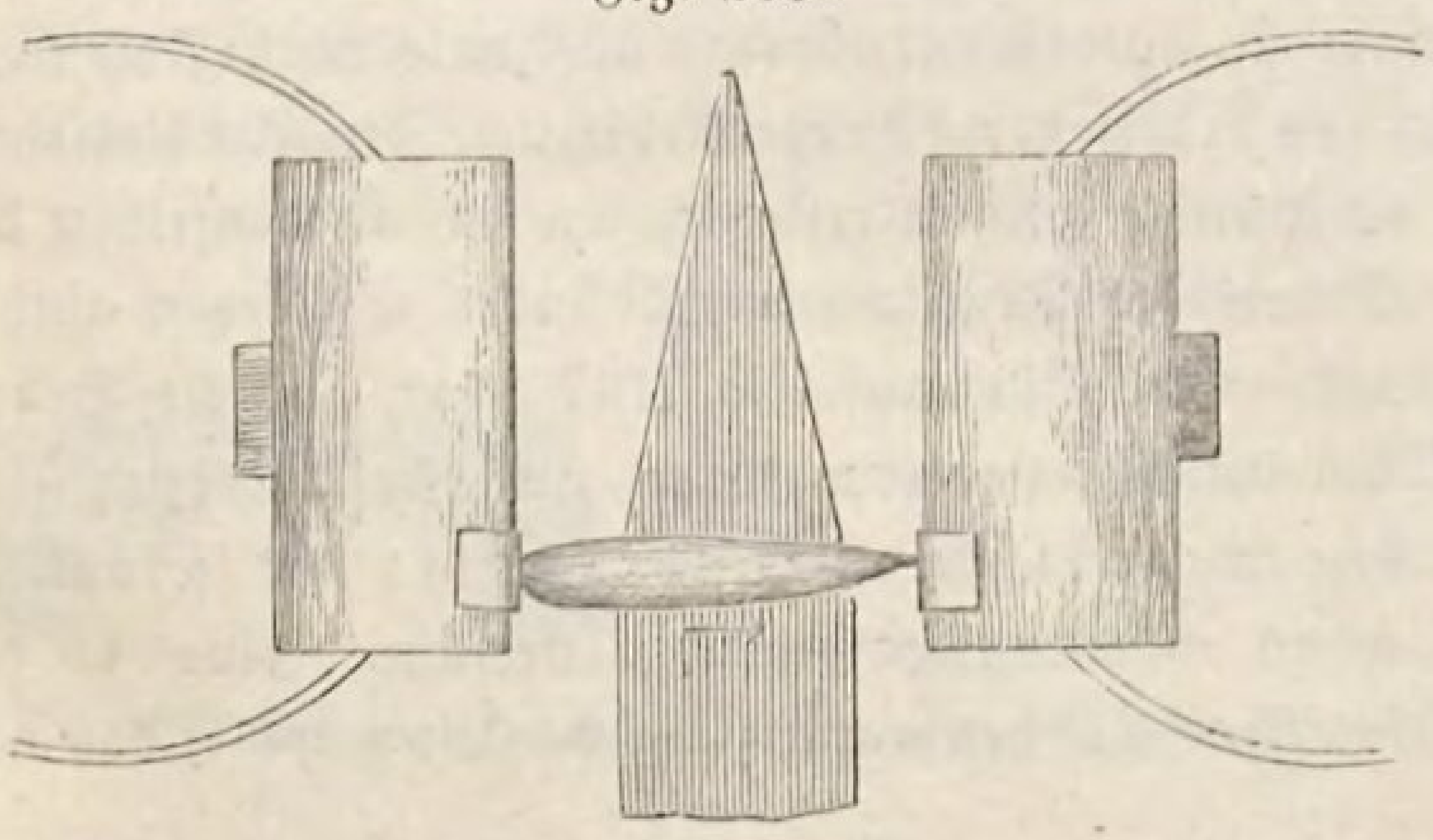


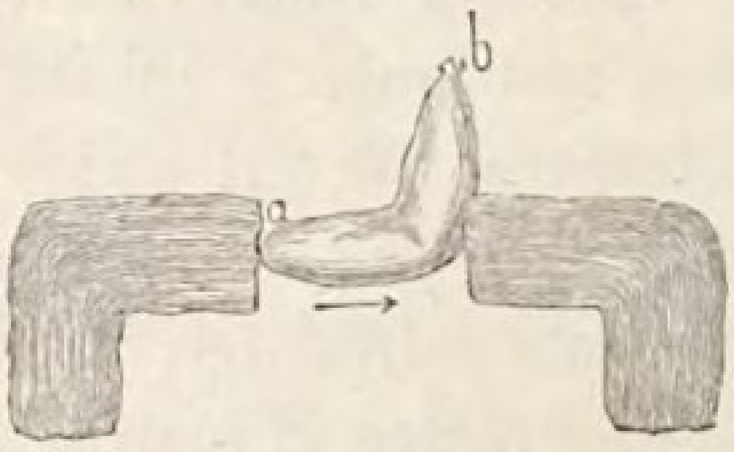
Fig. 293.



Am geeignetſten iſt zu dieſen Verſuchen der Musculus semi membranosus.

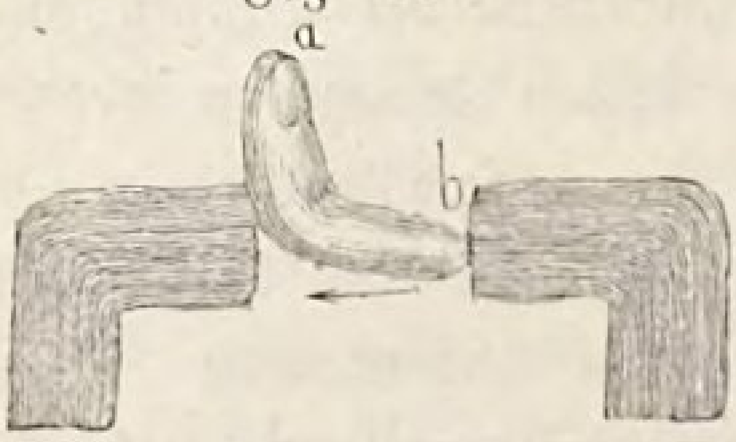
Bei der eben betrachteten Lage giebt alſo dieſer Muskel keinen oder nur einen ſehr ſchwachen Strom. Hebt man aber nun das eine Ende *b* des Muskels in die Höhe, und ſchiebt man dann die Gläſer zuſammen, ſo daß der eine Bauſch das rothe Muskelfleiſch berührt, während das ſehnige Ende *a* des Muskels gegen den andern Bauſch anſtößt, wie Fig. 294, ſo erfolgt ein kräftiger Ausſchlag, welcher im Muskel einen Strom vom ſehnigen Ende gegen die berührte Stelle des Muskelfleiſches anzeigt.

Fig. 294.



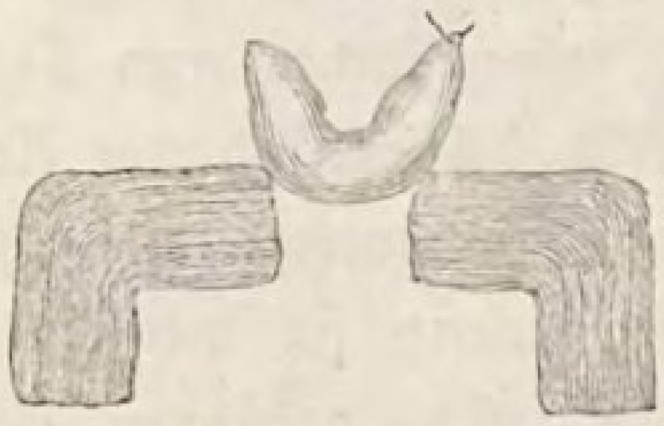
Bringt man den Muskel, nach Ausgleichung der Ladungen in die Lage Fig. 295, ſo erfolgt abermals ein Ausſchlag, welcher wiederum einen Strom im Muskel von der Sehne zum Fleiſch anzeigt. Iſt *a* das Kopfende des Muskels, ſo hatte man alſo in dem Fig. 294 dargeſtellten Falle einen abſteigenden Strom, in dem Falle aber, welchem die Fig. 295 entſpricht, einen aufſteigenden. Man ſieht daraus, daß ſich die Bezeichnung des »aufſteigenden« oder »abſteigenden« Stromes auf etwas ganz Unweſentliches bezieht.

Fig. 295.



In der Lage, Fig. 296, wo nur rothes Muskelfleiſch auf beiden Seiten die Bäuſche berührt, bleibt in günſtigen Fällen das Gleichgewicht der Nadel ungeſtört.

Fig. 296.



Auf den erſten Anblick ſcheint es, als könne man aus dieſen Erfahrungen einen Schluß auf die Ungleichartigkeit des rothen Fleiſches und des Sehnengewebes an den Enden der Muskeln ziehen; wir werden jedoch bald ſehen, daß dies nicht der Fall iſt, daß vielmehr die Sehne hier die Rolle eines unwirkſamen leitenden Ueberzuges ſpielt.

Stellt man nämlich an einem in warmem Waſſer oder in verdünntem Alkohol erhärteten Muskel durch Zerreißen oder Zerſchneiden in der Richtung der Faſern einen Längsdurchſchnitt derſelben dar, wozu ſich der Wadenmuskel oder der große Unterſchenkelſtrecker abermals vorzüglich eignen, ſo gewahrt man bald, daß der ſehnige Ueberzug, die Achillesſehne z. B., ſich kaum über die Punkte hinaus erſtreckt, wo ſich an denſelben die Enden der Primitivmuskelbündel anzuſetzen aufhören. Ein Blick auf Fig. 297 lehrt, daß die Sehne *ab* betrachtet werden könne als ein Ueberzug über den *natürlichen Querſchnitt* des Muskels, wenn man unter ſeinem Querſchnitt eine ſo beſchaffene Flächenbegränzung verſtehen will, daß da-

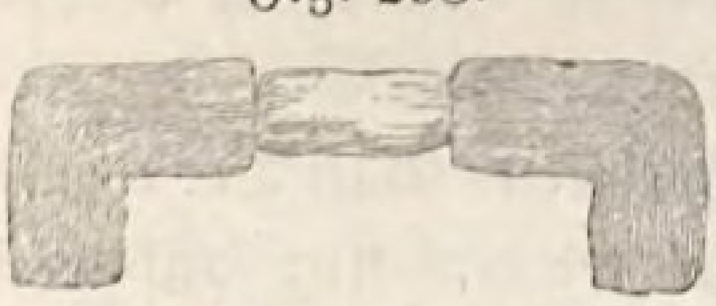
Fig. 297.

ein nur Grundflächen der als Prismen oder als Cylinder gedachten Formelemente des Muskels enthalten ſind. Eben ſo ſieht man, daß alsdann das, was wir bisher als **rothes Fleiſch** bezeichneten (bc), als der **natürliche Längsſchnitt** des Muskels angeſehen werden muß, wenn wir nämlich unter einem Längsſchnitt eine ſo beſchaffene Flächenbegränzung an demſelben verſtehen wollen, daß darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder als Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten ſind. Die Annahme, daß dieſe beiden Flächenbegränzungen am Muskel, ſein natürlicher Längsſchnitt und ſein natürlicher Querſchnitt ſich untereinander ungleichartig verhalten, reicht nun zur Erklärung der eben angeführten Erſcheinungen aus, wenn man die Sehnen als einen indifferenten leitenden Ueberzug betrachtet.

Es iſt nun unwahrſcheinlich, daß die Ungleichartigkeit des natürlichen Querſchnittes, wenn es wirklich eine ſolche giebt, nur an der Oberfläche deſſelben haften ſolle. Es iſt vielmehr viel anſprechender, ſich zu denken, daß ſie nichts als der Ausdruck der Ungleichartigkeit des Inneren aller Primitivmuskelbündel gegen ihr Aeußeres ſey. Iſt dies der Fall, ſo muß ſich auch ein **künſtlicher Querſchnitt** ähnlich verhalten, wie der natürliche Querſchnitt.

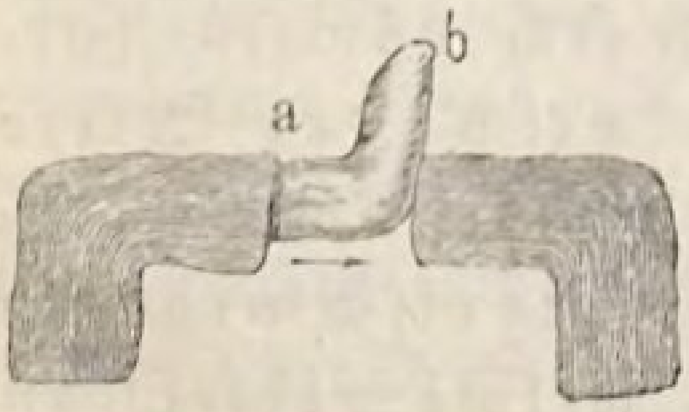
Schneidet man einen Muskel mit einer ſcharfen Scheere quer durch, ſo verhält ſich in der That dieſer künſtliche Querſchnitt in allen Fällen ganz ſo wie der natürliche mit der Sehne bekleidete Querſchnitt in den Fig. 294 bis Fig. 296 dargeſtellten Fällen. Der von zwei künſtlichen Querſchnitten begränzte mittlere Theil des Muskels in der Fig. 298 dargeſtellten Weiſe zwiſchen die Bäuſche gebracht, giebt keinen Strom, oder doch nur ſchwache Wirkungen, bald in der einen, bald in der anderen Richtung, was daher rührt, daß es ſehr ſchwer hält zu verhindern, daß nicht auf der einen oder anderen Seite die Kante zwiſchen dem künſtlichen Querſchnitt und dem natürlichen Längsſchnitt ſich etwas umlege, ſo daß auch einige Punkte der Mantelfläche der äußeren Muskelfaſern mit dem Bauſch in Berührung kommen.

Fig. 298.



Dieſe Wirkungen ſind jedoch verſchwindend gegen diejenigen, welche die Anordnung, Fig. 299, bei welcher einerſeits der künſtliche Querſchnitt, andererſeits der natürliche Längsſchnitt an den Bäuſchen anliegt, hervorbringen; hier fliegt die Nadel, wenigſtens bei dickeren Muskeln, gegen die Hemmung, ſtets einen Strom im Muskel vom künſtlichen Querſchnitt zum natürlichen Längsſchnitt anzeigend.

Fig. 299.



Da alſo der natürliche Querſchnitt durch einen künſtlichen Querſchnitt

erſetzt werden kann, ſo ließ ſich erwarten, daß auch der natürliche Längsſchnitt durch einen künſtlichen Längsſchnitt erſetzt werden könne, welchen man durch eine Spaltung des Muskels in der Richtung der Faſern erhält.

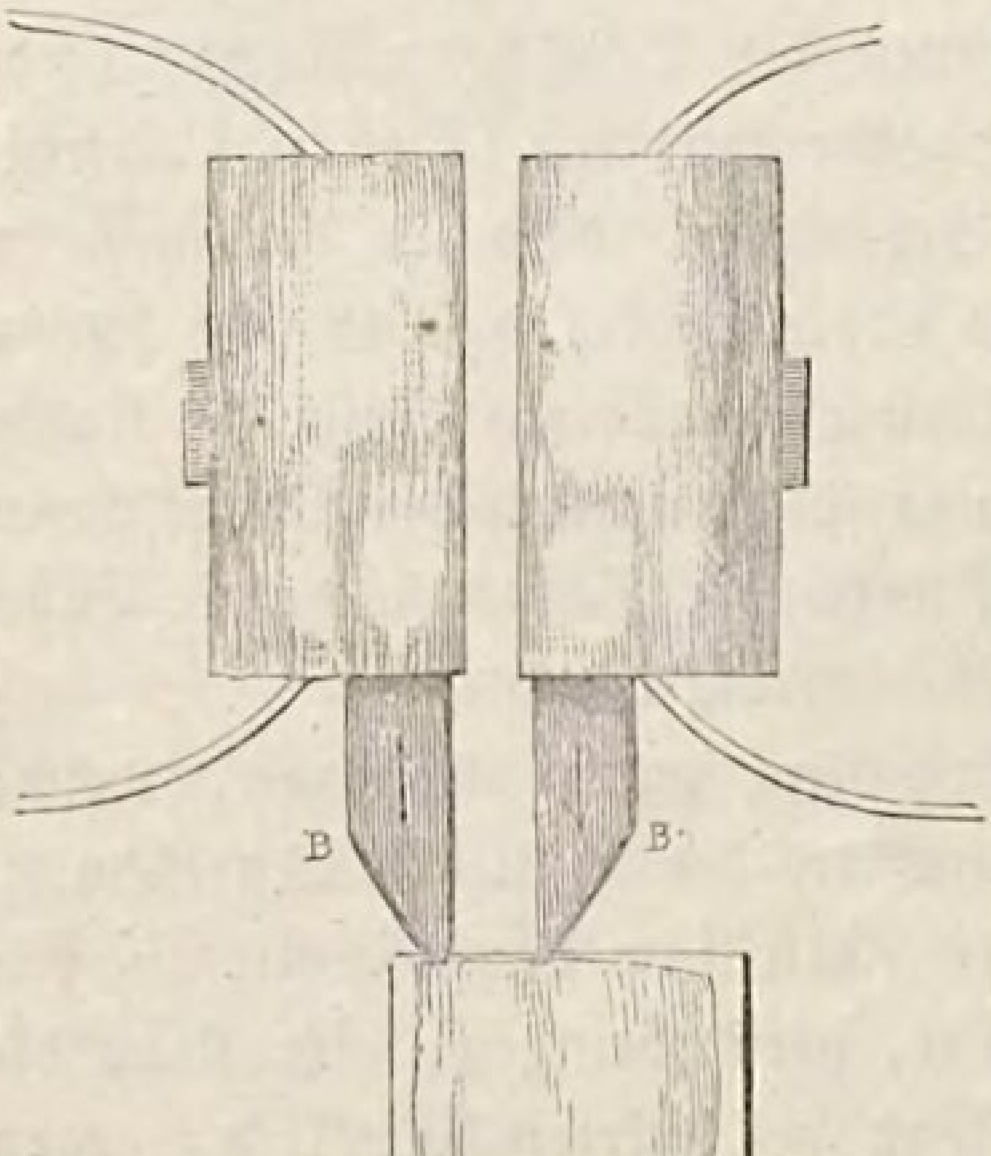
Der Verſuch zeigt nun, daß ſich der künſtliche Längsſchnitt elektromotoriſch gerade ebenſo verhält, wie der natürliche Längsſchnitt.

So iſt denn durch die bisherigen Verſuche die Thatſache erwieſen, daß jeder Punkt eines natürlichen oder künſtlichen Längsſchnittes am Muskel ſich poſitiv verhält gegen einen Punkt am natürlichen oder künſtlichen Querſchnitt.

Es iſt aber nun zu unterſuchen, wie ſich verſchiedene Punkte deſſelben Querſchnittes zu einander verhalten, ebenſo, ob verſchiedene Punkte deſſelben Längsſchnittes elektromotoriſch gleichartig ſind oder nicht.

Die Muskeln des Froſches ſind zu klein, um das elektromotoriſche Verhalten verſchiedener Punkte deſſelben Querſchnittes gegen einander zu unterſuchen. Du Bois wählte zu dieſer Unterſuchung Muskeln vom Kaninchen; am tauglichſten dazu iſt der Triceps femoris. Der Querſchnitt wird mit einem möglichſt ſcharfen Inſtrument dargeſtellt, wobei alles Sägen zu vermeiden iſt, damit er ganz rein ſey und nicht treppenförmige Abſätze zeige. Die Art, wie der Verſuch angeſtellt wird, iſt aus Fig. 300 erſichtlich. Die Hülfsbäuſche *B* und *B'*, welche nur aus wenigen Lagen Fließpapier beſtehen und gleichfalls mit geſättigter Kochſalzlöſung getränkt ſind, werden mit ihren breiteren Enden entweder zwiſchen die Lagen der gewöhnlichen Bäuſche eingeklemmt oder ſie werden nur auf dieſelben aufgelegt; ihre Spitzen werden dann, wie es die Figur andeutet, mit verſchiedenen Punkten des Querſchnittes in Berührung gebracht.

Fig. 300.



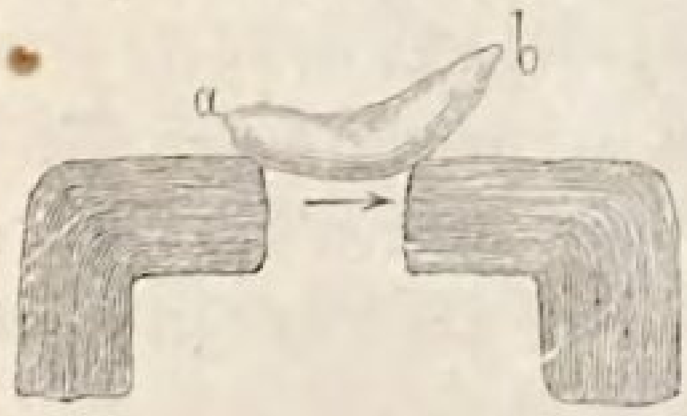
Das Ergebniß dieſer Unterſuchung iſt nun wirklich Ungleichartigkeit der verſchiedenen Punkte des Querſchnittes. Es verhalten ſich nämlich ſolche Punkte, welche der Mitte des Querſchnittes näher liegen, elektromotoriſch negativ gegen ſolche, welche weiter von derſelben entfernt ſind.

Der Strom, welchen man von zwei verſchiedenen Punkten des Querſchnittes erhält, iſt übrigens weit ſchwächer als der, welchen man erhält, wenn man eine leitende Verbindung zwiſchen einem Punkte des Querſchnittes und einem Punkte des Längsſchnittes herſtellt. Während im letzteren Falle die Nadel an die Hemmung fliegt, beträgt hier der Ausſchlag nur 10 bis 25 Grad.

Der natürliche Querſchnitt zeigt ganz daſſelbe Verhalten, wie der künſtliche, wie dies Du Bois durch Verſuche am Sehnenſpiegel mehrerer Muskeln vom Kaninchen nachgewieſen hat.

Ebenſo ſind auch die verſchiedenen Punkte des natürlichen oder künſtlichen Längsſchnittes eines Muskels keineswegs unter ſich gleichartig. Wenn die beiden auf die Bäuſche aufgelegten Punkte des Muskels gleichweit von der Mitte deſſelben abſtehen, ſo erhält man keine oder doch nur eine ganz ſchwache Wirkung, wie wir bereits oben geſehen haben; legt man aber den Muskel ſo auf, daß der eine berührende Punkt weiter von dem mittleren Querſchnitt des Muskels entfernt iſt, als der andere, wie dies Fig. 301 zeigt, ſo erhält man ſtets einen Strom, welcher im Muskel von dem näher gegen das Ende deſſelben liegenden Berührungspunkte gegen den anderen hingeht; an der äußeren Mantelfläche des Muskels ſind alſo alle Punkte, welche dem mittleren Querſchnitt näher liegen, poſitiv gegen ſolche Punkte, welche dem Ende des Muskels näher ſind.

Fig. 301.



Die Stärke der Ströme, welche von zwei verſchiedenen Punkten des Längsſchnittes eines Muskels erhalten werden, iſt gleichfalls weit geringer, als die Stärke derjenigen Ströme, welche vom Längsſchnitt zum Querſchnitt gehen.

Dies ſind die Grundzüge des von Du Bois ermittelten Geſetzes des Muskelſtromes, durch welches die Elektrophyſiologie auf einen ganz neuen Standpunkt gehoben worden iſt.

Das Geſetz des Muskelſtromes iſt nicht etwa an einzelne Thiergattungen gebunden, es iſt, nach Du Bois's Verſuchen, über das ganze Thierreich verbreitet. Er hat die Negativität des künſtlichen Querſchnittes gegen den natürlichen Längsſchnitt beobachtet an Muskeln vom Menſchen (Muskeln eines eben amputirten Beines), vom Kaninchen, vom Meerſchweinchen, von der Hausmaus, — der Taube und dem Sperling; — der Schildkröte, Eidechſe, Ringelnatter, Blindſchleiche, verſchiedenen Arten von Fröſchen und Kröten, dem Erd- und dem Waſſermolch; — vom Schley, Flußkrebs und Regenwurm. Bei letzterem wurden die ganzen Stücke des walzenförmigen Körpers ohne weiteres als Muskel aufgelegt.

289 **Zur Geſchichte des Geſetzes des Muskelſtroms.** Ohne Zweifel gebührt keinem Anderen als Du Bois die Ehre als Entdecker des Geſetzes des Muskelſtromes genannt zu werden, denn er iſt es, welcher zuerſt einem bloßen Stücke Muskel einen Strom entlockte, welcher den Gegenſatz des natürlichen oder künſtlichen Querſchnittes zum natürlichen oder künſtlichen Längsſchnitt nachgewieſen hat. Dieſe Nachweiſung findet ſich bereits in ſeinem »vorläufigen Abriſſe.« Die Differenzen zwiſchen verſchiedenen Punkten deſſelben Querſchnittes oder verſchiedenen Punkten deſſelben Längsſchnittes hatte er damals noch nicht ermittelt.

Sehen wir nun, was Matteucci auf dieſem Felde geleiſtet hat. Im September 1841 machte er in den Comptes rendus die Beobachtung bekannt, daß, wenn der innere Theil eines lebenden oder faſt lebenden Muskels durch einen Galvanometerdraht oder durch den Nerv eines ſtromprüfenden Froſchſchenkels mit irgend einem anderen Theile deſſelben Thieres, der Oberfläche des Muskels, der Haut u. ſ. w. in Verbindung gebracht wird, ein Strom entſteht, welcher im Thiere von dem muskulöſen Theile zu dem geht, welcher es nicht iſt.

Am 21. Februar 1842 und am 17. October deſſelben Jahres machte Dumas der Pariſer Akademie weitere Mittheilung über Matteucci's Beobachtung der Negativität des Muskelinnern; in der erſten dieſer Mittheilungen wird geſagt, daß der Strom im Thier vom Innern des Muskels oder vom Nerv zu ſeiner Oberfläche oder ſeiner Sehne gerichtet ſey.

Man ſieht hieraus, wie weit Matteucci noch von der richtigen Erkenntniß des Geſetzes des Muskelſtromes entfernt war, daß er keine Ahnung hatte von dem Gegenſatze der Mantelfläche und des Querſchnitts der Primitivmuskelbündel. Er gab den von ihm gemachten Beobachtungen ſogleich eine falſche Deutung und wußte ſie nicht bis zur Ermittelung des wahren Zuſammenhanges zu verfolgen. In der zweiten Mittheilung, welche Dumas der Akademie über Matteucci's Arbeiten machte, iſt nur die Rede von den Zuckungen des ſtromprüfenden Schenkels, welche man erhält, wenn man ſeinen Nerv in die Wunde eines bloßgelegten, transverſal durchſchnittenen Bruſt- oder Schenkelmuskels einer Taube einführt.

Im November deſſelben Jahres publicirte Matteucci einen Aufſatz, in welchem er über eine Säule von Froſchſchenkeln berichtet. Die Schenkel allein, ohne Nerven und Unterbein, wurden quer durchſchnitten und die Säule ſo zuſammengeſetzt, daß die innere Muskelfläche eines jeden mit der äußeren Fläche des folgenden Stücks in Berührung kam. Der Strom war im Muskel ſtets von der inneren zur äußeren Muskelfläche gerichtet. — In dieſem Aufſatze findet ſich denn untern anderen auch

wieder die ſchon oben erwähnte Identificirung von Nerv und Muskelinnerem gegenüber von Sehne und Muskeloberfläche ausgeſprochen.

Vergleicht man den Gang dieſer Unterſuchungen mit dem der Du Bois'ſchen, ſo wird wohl ſchwerlich ein Zweifel gegen die Selbſtſtändigkeit der Arbeiten Du Bois's aufkommen können.

Gehen wir nun zu denjenigen Unterſuchungen über, welche Matteucci in Betreff unſers Gegenſtandes nach dem Erſcheinen von Du Bois's „vorläufigem Abriß« publicirt hat. Die bis zum Jahre 1844 erhaltenen Reſultate finden wir in ſeinem Traité u. ſ. w. zuſammengeſtellt.

Hier erfährt man Näheres über die Größe der Wirkungen, die er mit ſeinen Schenkelſäulen am Multiplicator hervorbrachte. Eine Säule von 3 halben Oberſchenkeln des Froſches ergab 15° Ausſchlag, als Waſſer, 35°, als eine Kochſalzlöſung, die Zuleitungsflüſſigkeit war. Bedenkt man, daß bei den von Du Bois angewandten Vorrichtungen ein einziger Muskel die Nadel an die Hemmung warf, alſo eine ungleich größere Wirkung hervorbrachte, als Matteucci mit ganzen Schenkelſäulen erreichen konnte, ſo iſt dieſer Vergleich wohl geeignet, die bedeutende Ueberlegenheit der Du Bois'ſchen Methode zu experimentiren über die rohen Verſuche, mit welcher Matteucci auftritt, darzuthun.

Eine große Verwirrung hat Matteucci dadurch angerichtet, daß er lange Zeit einen Unterſchied zwiſchen Froſchſtrom und Muskelſtrom machte. Dieſe Unterſcheidung ſpricht er ſelbſt in ſeinem Traité, alſo im Jahre 1844 noch aus. Er ſtellt hier noch die Behauptung auf, alle Thiere beſäßen einen Muskelſtrom; nur der Froſch ſey außerdem noch mit einem ohne nachweisbaren Grund in allen Theilen deſſelben vorhandenen aufſteigenden Strom ausgeſtattet, welcher der Froſchſtrom genannt wird.

Erſt im März 1845 ſieht er die Einerleiheit des Froſch- und Muskelſtromes ein und lernt die Negativität der Sehne kennen, er publicirt ſie im Jahre 1846 dreimal hinter einander, als das wichtigſte Ergebniß ſeiner neueſten Unterſuchungen, obgleich er vom September 1845 an eingeſtandenermaßen Du Bois's Abhandlung kennt.

Erörterung des elektromotoriſchen Wirkungsgeſetzes des Muskelgewebes. 290 Wir haben geſehen, daß ein Muskel elektromotoriſche Wirkungen giebt, er mag von künſtlichen oder natürlichen Längs- oder Querſchnitten begränzt ſeyn; wir haben ferner geſehen, daß auch ein nur von künſtlichem Längs- und Querſchnitt begränztes Muskelſtück auch noch elektromotoriſch wirkt. Es iſt nun zu unterſuchen, welches die elektromotoriſchen Elemente ſind, aus denen der Muskel zuſammengeſetzt iſt. In dem »vorläufigen Abriß«, erwähnt Du Bois Verſuche, die

er mit Muskelfetzchen anſtellte, die oft nur aus 10 bis 15 Primitivmuskelbündeln beſtanden und welche in ihren wirkſamen Lagen 8 bis 10 Grad Ausſchlag, durch Umlegen 15 bis 18 Grad gaben. Später iſt es ihm geglückt, von einem einzigen wirkſam aufgelegten Primitivmuskelbündel 8 bis 10 Grad Ausſchlag zu erhalten.

Dies iſt der Punkt, bis zu dem es verſtattet iſt, mit der unmittelbaren Beobachtung vorzudringen. — Wir werden dadurch zu der Annahme geführt, daß es das Primitivmuskelbündel iſt, in welchem der Strom erzeugt wird.

Es iſt nun zu unterſuchen, wie wohl die ungleichartigen Beſtandtheile in dem Primitivmuskelbündel angeordnet ſeyn müſſen, damit daſſelbe die Erſcheinungen hervorbringe, welche wir bereits kennen gelernt haben. Es fragt ſich, ob es nicht möglich iſt, eine Vorrichtung zu conſtruiren, mittelſt deren man alle die elektriſchen Erſcheinungen des Muskels nachahmen kann?

Auf den erſten Blick ſcheint folgende Vorrichtung dieſe Bedingung zu erfüllen. Man denke ſich einen durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen roth gebliebenen Cylinder. Legt man einen, aus einem feuchten Leiter beſtehenden Bogen mit einem ſeiner Enden an den Mantel, mit dem andern an eine der Grundflächen dieſes Cylinders an, ſo wird man ſtets einen Strom haben, der in dem Schließungsbogen vom Mantel zur Grundfläche geht. Schneidet man den Cylinder ſenkrecht auf die Axe durch, ſo leiſtet jedes Bruchſtück daſſelbe.

Soweit leiſtet die Anordnung, was ſie ſoll; allein die feineren Züge der Erſcheinung, welche wir am Muskel kennen lernten, kann ſie nicht hervorbringen. Berührt nämlich der Bogen zwei Punkte der Mantelfläche allein, ſo wird kein Strom entſtehen; eben ſo wenig, wenn man zwei Punkte der Grundfläche allein berührt, während wir doch im Muskel ſchwache Ströme zwiſchen verſchiedenen Punkten des Längsſchnittes ſowohl, wie zwiſchen verſchiedenen Punkten des Querſchnittes gefunden hatten.

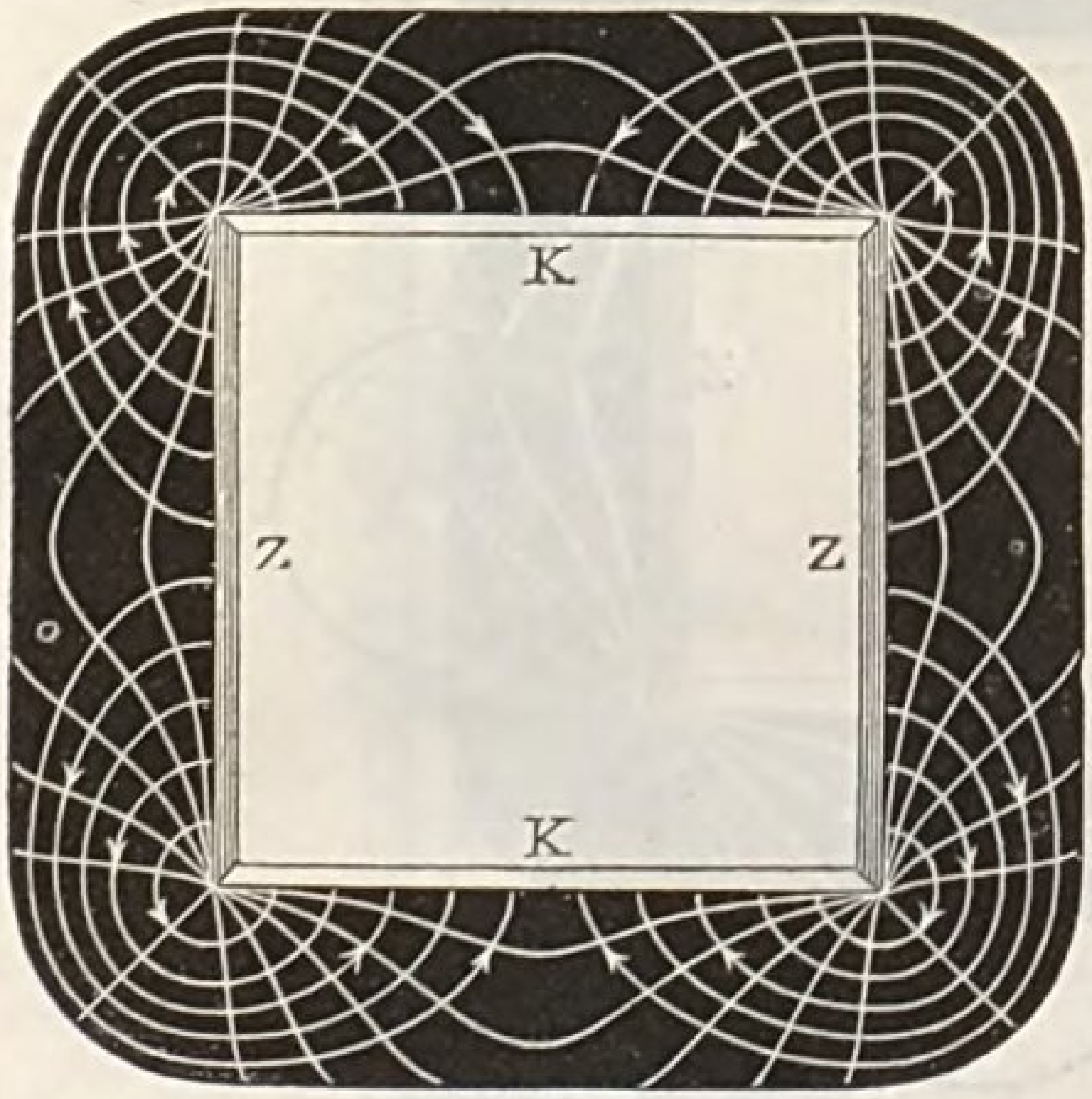
Um der Forderung zu entſprechen, daß das künſtliche Schema auch ſolche Ströme gebe, müſſen wir uns den eben beſprochenen kupfernen, am Mantel verzinkten Cylinder ringsum von einem feuchten Leiter umgeben denken, welcher auf allen Punkten eine Schicht von gleicher Höhe bildet.

Von einem ſolchen flüſſigen Leiter umgeben, wird an unſerm Zinkkupferſchema ein beſtändiger Strömungsvorgang ſtattfinden; es werden beſtändig Ströme von den verſchiedenen Punkten des verzinkten Mantels durch die Flüſſigkeit zum kupfernen Querſchnitt gehen. Stellt man nun außerhalb eine leitende Verbindung zwiſchen zwei verſchiedenen Punkten der Oberfläche der feuchten Hülle her, ſo wird dadurch eine Nebenſchlie-

ßung hervorgebracht. Die in dieſer Nebenſchließung curſirenden Ströme ſind es denn, welche, wenn ſich dieſe Anſicht bewährt, den Strömen entſprechen, welche wir in den, an verſchiedenen Punkten des Muskels angelegten Schließungsbogen beobachteten.

Fig. 302 ſtellt den Durchſchnitt eines Kupferzinkſchemas dar, welches ringsum mit einer flüſſigen Hülle umgeben iſt. Beim Entwerfen der Figur iſt die Höhe des metalliſchen Cylinders ſeinem Durchmeſſer gleich angenommen worden. Die von den Zinkſeiten zu den Kupferflächen gehenden (durch kleine Pfeilſpitzen bezeichneten) Linien ſtellen die *Strömungskurven* dar, d. h. die Linien, nach welchen ungefähr die von verſchiedenen Punkten der Zinkſeiten ausgehenden poſitiven Ströme durch die flüſſige Hülle zu den entſprechenden Punkten der Kupferflächen übergehen.

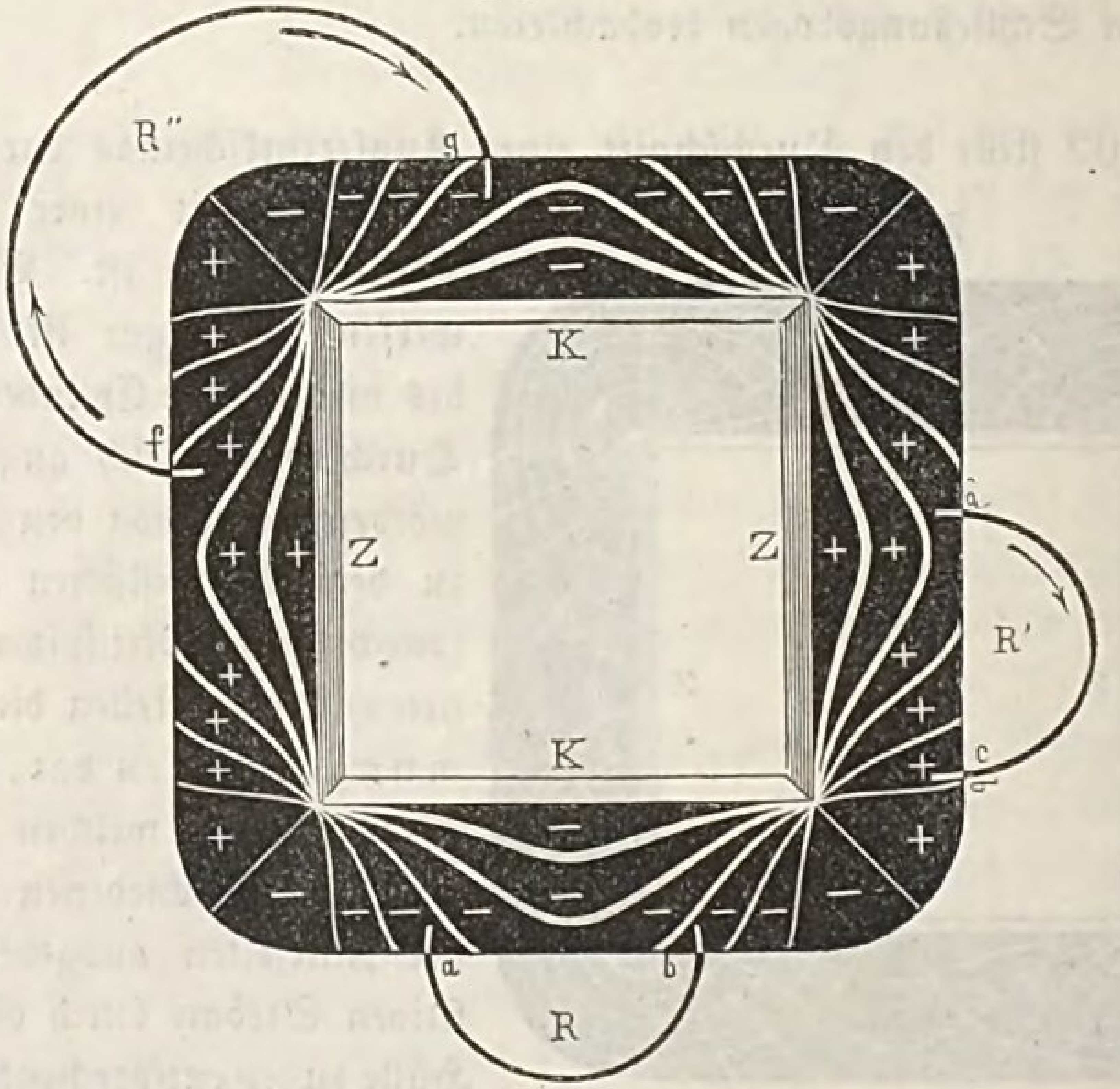
Fig. 302.



Mit Hülfe der Strömungskurven kann man nun auch den ungefähren Lauf der Kurven gleicher elektriſcher Spannung in der Flüſſigkeit verfolgen, welche Du Bois *iſoelektriſche Kurven* nennt. — Zwiſchen der Zinkfläche und der Kupferfläche unſers Schemas wird nämlich ſtets ein beſtimmter elektriſcher Gegenſatz ſtattfinden. Betrachten wir nun irgend eine Strömungskurve, welche einen Punkt der Zinkſeite mit einem Punkte der Kupferfläche verbindet, ſo iſt klar, daß in der Mitte dieſer Kurve die elektriſche Spannung gleich Null iſt. Von dieſem neutralen Punkte an nimmt aber die poſitive Spannung auf derſelben Strömungskurve um ſo mehr zu, je mehr man ſich der Zinkſeite nähert, während auf der anderen Seite mit der Annäherung gegen die Kupferfläche die negative Spannung zunimmt. Denken wir uns nun ein zweites Kurvenſyſtem ſo gelegt, daß die neuen Kurven die Strömungskurven rechtwinklig ſchneiden, wie dies in der Figur wirklich ausgeführt iſt, ſo ſind dies die *iſoelektriſchen Kurven*, d. h. diejenigen, welche die Punkte gleicher elektriſcher Spannung in der Flüſſigkeit mit einander verbinden. In Fig. 303 (ſ. f. S.) ſind die iſoelektriſchen Kurven allein ohne die Strömungskurven verzeichnet, und zwar ſind ſie um ſo ſtärker ausgezogen, je größer an der entſprechenden Stelle die elektriſche Spannung iſt. Die

Natur der elektriſchen Spannung an verſchiedenen Punkten der Flüſſigkeit iſt durch + und — bezeichnet.

Fig. 303.



Mit Hülfe dieſer Figur kann man leicht überſehen, was erfolgen wird, wenn man einen leitenden Bogen an verſchiedenen Stellen der feuchten Hülle anlegt.

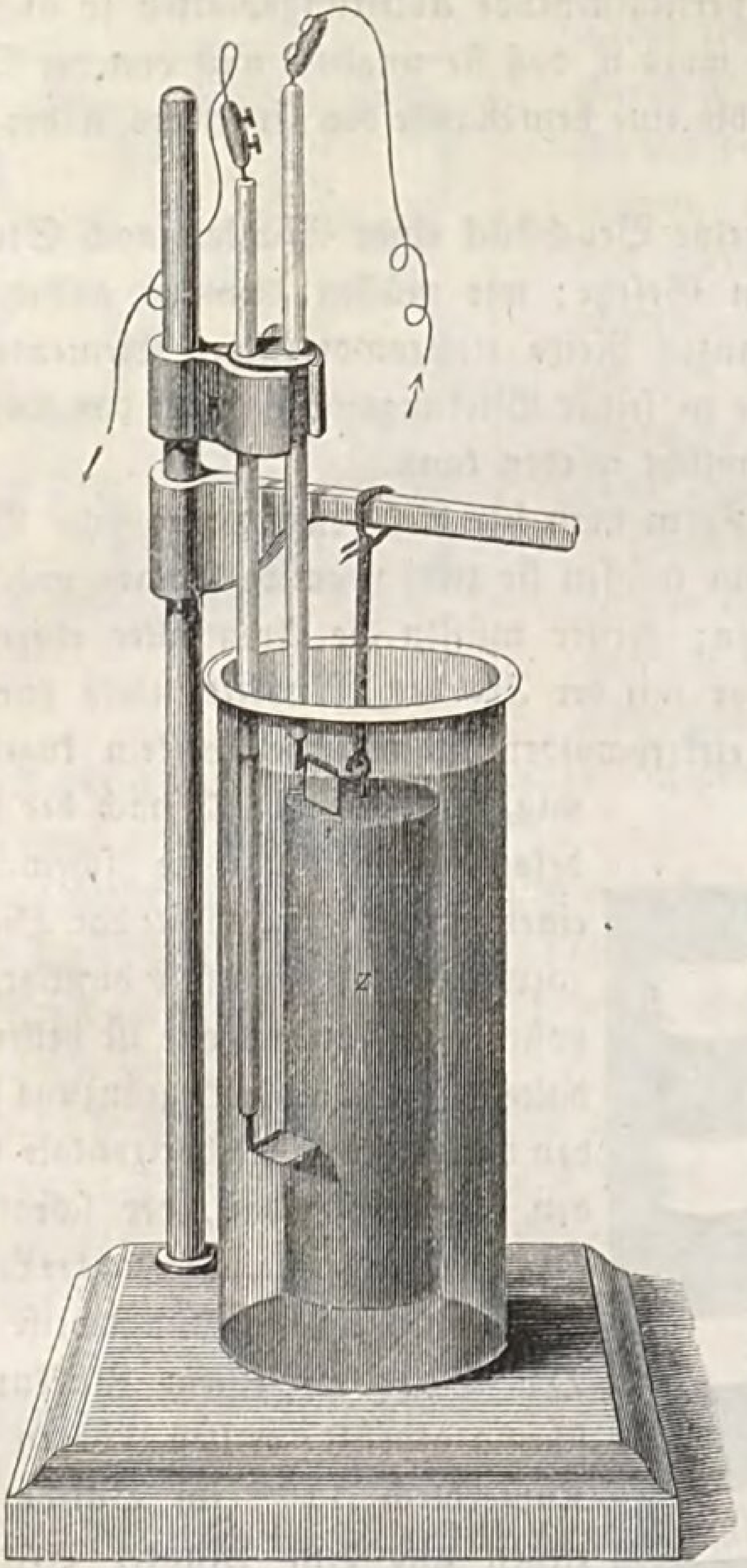
Iſt der Schließungsbogen ſo angelegt, wie *R*, daß ſeine Enden *a* und *b* gleichweit abſtehen von der Mitte der berührten Seite, ſo kann kein Strom in dieſem Schließungsbogen entſtehen, weil bei *a* und bei *b* gleiche Spannung der gleichen Elektricität ſtattfindet. — Wird der leitende Bogen aus der Mitte weggerückt, wie dies bei *R′* der Fall iſt, ſo iſt die Dichtigkeit der Elektricität an den beiden Fußpunkten des Bogens nicht mehr dieſelbe; zwar findet ſich dieſelbe Elektricität bei *c* und bei *d*, nämlich poſitive, da aber bei *d* eine ſtärkere Spannung herrſcht, ſo muß nothwendig ein Strom von *d* nach *c* entſtehen.

Weit ſtärker wird der Strom werden müſſen, wenn der eine Fußpunkt des leitenden Bogens über die Kupfer-, der andere über die Zinkſeite zu ſtehen kommt, wie dies bei *R″* der Fall iſt, denn *f* berührt an einer Stelle wo ſich poſitive, *g* an einer Stelle wo ſich negative Elektricität vorfindet.

Du Bois hat nun dieſe Folgerungen auch durch das Experiment zu beſtätigen geſucht. Nach mehreren anderen Verſuchsformen kam er auf folgende, welche die Erſcheinungen des Muskelſtroms ſehr treu darſtellt. Ein Cylinder von Kupferblech, deſſen Mantel verzinkt war, während ſeine

Grundflächen roth blieben, hatte eine Höhe von 155^{mm} und einen Durchmeſſer von 55^{mm}. Das Zink an ſeinem Umfange war amalgamirt. Er hing mittelſt eines wohlgefirnißten Hakens an einer Schnur in einem mit Waſſer gefüllten cylindriſchen Glaſe von 90^{mm} Durchmeſſer, Fig. 304.

Fig. 304.



Der Halter, welcher den Cylinder trug, führte zugleich eine Klemme, welche einen doppelt durchbohrten Kork enthielt. In jeder Durchbohrung ließ ſich ein Glasrohr auf- und niederſchieben, in welches ein überſponnener Kupferdraht eingekittet war. An dem unteren Ende des Drahtes war eine quadratiſche Platinplatte von 15^{mm} Seite angelöthet. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der aus dem Glasrohr hervorragende Theil des Kupferdrahtes ſammt der Löthſtelle hinlänglich ſtark mit Kitt überzogen iſt, ſo daß das Kupfer durchaus nicht mit der Flüſſigkeit in Berührung kommen kann. Die Platinplatten, welche den Zinkſeiten des Cylinders gegenüber ſtehen ſollen, haben eine horizontale Lage, während diejenigen, welche den kupfernen Grundflächen gegenüber zu ſtehen beſtimmt ſind, eine verticale Stellung haben. Die Enden der oben aus den Glasröhren hervorragenden Drähte waren mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

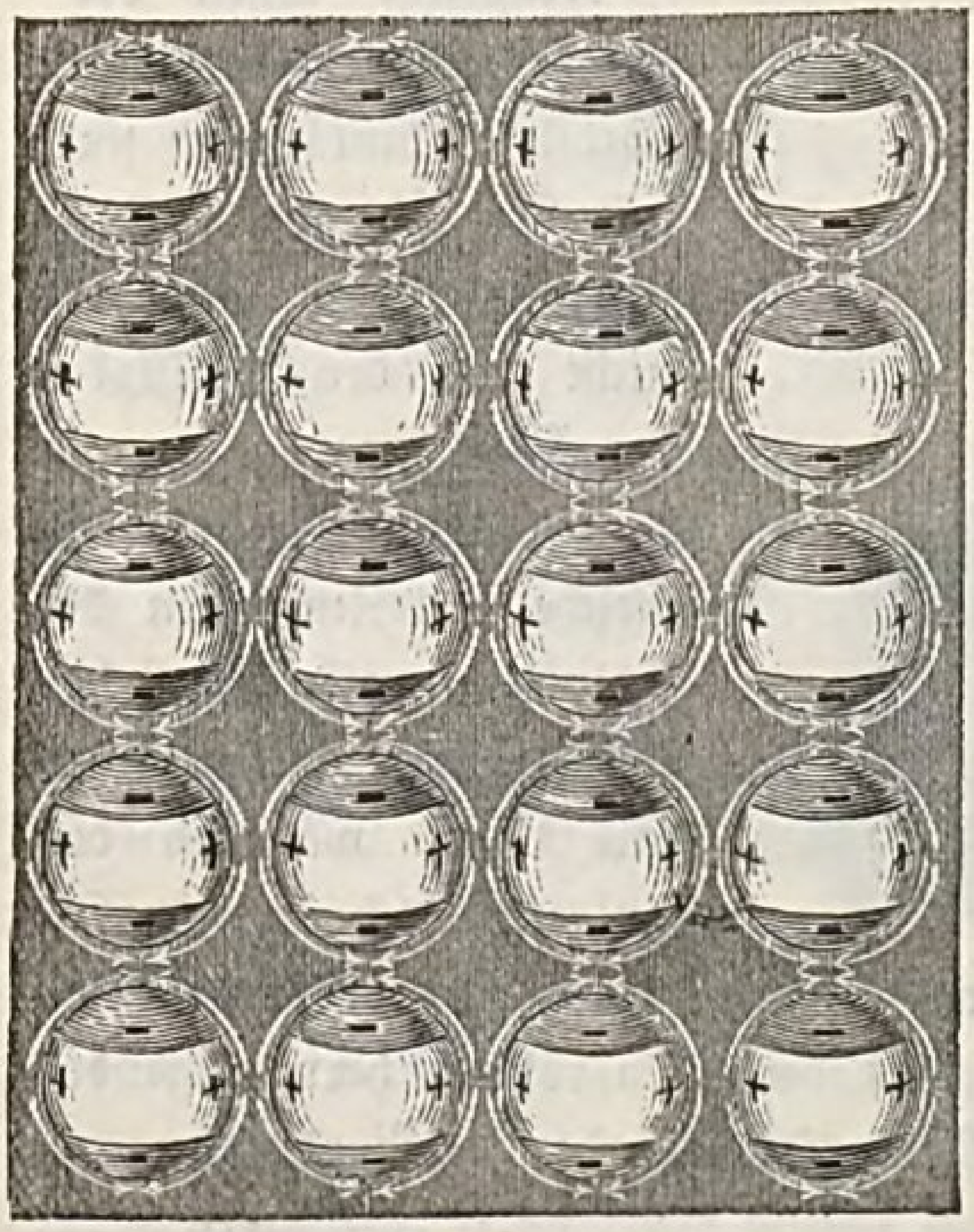
Die in unſerer Figur dargeſtellte Anordnung gab in der Richtung, welche durch die Pfeilchen an den Zuleitungsdrähten angedeutet iſt, einen Strom, welcher einen Ausſchlag der Multiplicatornadel um 15 bis 20^{0} bewirkte. — Waren der Mantelfläche gegenüber zwei horizontale Platinplatten ſo

angebracht, daß die eine eben ſo hoch über dem Höhenmittel des Cylinders ſich befand, als die andere unter demſelben angebracht war, ſo erhielt man gar keinen Strom; wurden beide Platten bei unveränderter Entfernung in die Höhe gezogen, ſo zeigte ſich ein ſchwacher Strom, der im Multiplicator einen Ausſchlag von 5 — 10⁰ bewirkte. Eben ſolche ſchwache Ausſchläge erfolgten, wenn zwei verticalſtehende Ableitungsplatten ſo über die obere Kupferfläche angebracht wurden, daß ſie ungleich weit von der Mitte derſelben abſtanden, daß alſo die eine dem Rande des Cylinders näher war als die andere.

Nun aber giebt jedes einzelne Bruchſtück eines Muskels noch Ströme und zwar ſtets nach demſelben Geſetze; wir müſſen demnach annehmen, daß der Muskel aus einer ganzen Reihe elektromotoriſcher Elemente beſtehe, von denen jedes einzelne in ſeiner Wirkungsweiſe durch das Kupferzinkſchema in Fig. 302 verſinnlicht werden kann.

Es iſt gleichgültig, welche Form man für dieſe elektromotoriſche Muskelmolekeln annehmen will, nur müſſen ſie zwei negative Polar- und eine poſitive Aequatorialzone beſitzen; ferner müſſen die Axen aller einzelnen Molekeln unter ſich und zwar mit der Axe des Muskelbündels parallel ſeyn. Denken wir uns die elektromotoriſchen Muskelmolekeln kugelförmig, ſo ſtellt Fig. 305 nach der oben beſprochenen Annahme ſchematiſch einen Muskellängsſchnitt dar. Die negativen Polarzonen ſind dunkler, die poſitive Aequatorialzone iſt heller gehalten. Die vertikale Begränzung ſtellt den Längsſchnitt, die horizontale ſtellt den Querſchnitt dar, der ſchraffirte Grund iſt unwirkſamer feuchter Leiter.

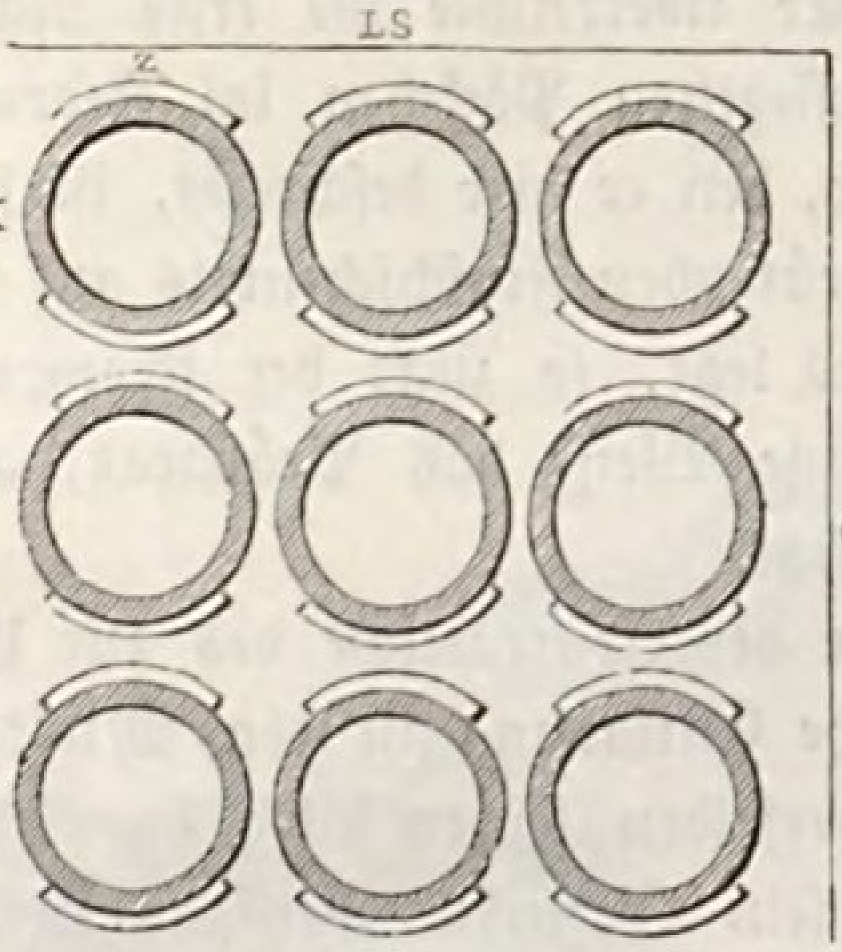
Fig. 305.



Auch dieſe Vorſtellungsweiſe hat Du Bois an einem Zinkkupferſchema geprüft; er ließ Röhren aus Kupferblech 11^{mm} im Durchmeſſer ziehen und dem Mantel derſelben entlang, einander diametral entgegengeſetzt, zwei Zinkſtreifen von ſolcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren dadurch in vier gleich breite Streifen, abwechſelnd von Zink und Kupfer, getheilt war. Die Röhren wurden ſenkrecht auf ihre Axe in lauter 12,5^{mm} lange Stücke geſchnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnißt und die Elemente, 72 an der Zahl, mit ihren

kreisförmigen Rändern, ſämmtlich in etwa 1^{mm} Entfernung von einander, in 6 Reihen auf ein Brettchen von 145^{mm} Länge und 85^{mm} Breite ſo aufgekittet, daß ihre Zinkſeiten ſämmtlich der langen, ihre Kupferſeiten ſämmtlich der kurzen Seite des Brettes zugekehrt waren. Fig. 306 ſtellt ein Stück dieſer Vorrichtung im Grundriß von unten geſehen dar.

Fig. 306.



Das Brettchen, welches die 72 Elemente trug, war gefirnißt und an ſeiner oberen Fläche mit einem Griff verſehen, mittelſt deſſen daſſelbe in einen 182^{mm} langen, 119^{mm} breiten und 6^{mm} hoch mit Waſſer gefüllten Trog eingeſenkt wurde. Beim Einſenken ſtieg natürlich das Waſſer im Troge, weil die im Innnern der Röhrchen enthaltene Luft nicht entweichen konnte.

Dieſe Vorrichtung gab nun zwiſchen Längs- und Querſchnitt 20⁰ Ablenkung, und als die Ableitungsplatten vor dem Längsſchnitt allein oder vor dem Querſchnitt allein ſich befanden, 8 bis 10⁰ in dem durch das Geſetz des Muskelſtromes geforderten Sinne.

Aus dieſen Unterſuchungen geht nun hervor:

1) daß der elektromotoriſche Muskel fortwährend als im Zuſtande der geſchloſſenen Kette befindlich zu denken iſt;

2) daß jeder Strom, wie er auch von einem thieriſchen Erreger gewonnen ſey, als durch Nebenſchließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm, betrachtet werden müſſe.

Einfluß der Zuſammenziehung auf den Muskelſtrom. Wie 291
wir bereits oben geſehen, hat Matteucci gefunden, daß bei tetaniſirten Fröſchen der Strom fehle, ſpäter ſprach er ſich dahin aus, daß der tetaniſche Zuſtand den Strom der Muskeln nur ſchwäche. Er hatte alſo richtig den Einfluß der Zuſammenziehung des Muskels auf den Strom beobachtet, war aber ſo wenig im Stande, dieſe Entdeckung zu benutzen und zu verfolgen, daß er alsbald ausgedehnte Verſuchsreihen mit ganzen Froſchſäulen anſtellte, welche zeigten, daß der Froſchſtrom während der Zuſammenziehung an Größe zunehme. In ſeinen »Leçons sur les phénomènes physiques des corps vivants«, welche 1847 erſchienen, ſagt er endlich auf Seite 277, daß, wenn während

der Contractionen keine Unterbrechung oder irgend eine andere Veränderung in der Kette vorgeht, die Galvanometernadel gar keine Variation erfährt. Die kleinen poſitiven oder negativen Schwankungen der Nadel, welche man manchmal beobachte, ſeyen zufälligen Störungen zuzuſchreiben.

Nicht beſſer weiß Matteucci die von ihm gemachte Entdeckung der ſecundären Zuckung zu benutzen. Er überreichte die erſte Nachricht von dieſer Entdeckung in einem verſiegelten Päckchen im Februar 1842 der Pariſer Akademie. Der Verſuch, den er hier beſchreibt, iſt folgender: Wenn man den Nerv eines ſtromprüfenden Froſchſchenkels auf die Schenkel eines gewöhnlichen Froſchpräparats legt, ſo zuckt der ſtromprüfende Schenkel, wenn man auf irgend eine Weiſe das Präparat, auf welchem ſein Nerv liegt, in Zuckungen verſetzt.

Becquerel ſchloß, daß im Augenblicke der Contraction des zur Unterlage dienenden Präparates eine elektriſche Entladung in den Muskeln vor ſich gehen müſſe, und daß ein Theil derſelben ſeinen Weg durch den aufgelegten Nerven nehme, worauf denn ſein Schenkel ebenfalls zucken muß.

Anfangs neigte ſich Matteucci ebenfalls dieſer, wie wir ſehen werden, nahe an die Wahrheit ſtreifendenden Anſicht zu, und er ſtellte zu ihrer Begründung die Verſuche an, welche eine Vermehrung der Stärke des Froſchſtromes im Augenblicke der Zuſammenziehung nachweiſen ſollten, alsbald aber verließ er dieſen Weg, um ſich in einem Labyrinth von Verkehrtheiten zu verlieren.

Im Jahre 1845 puplicirte er in den »philosophical transactions« eine, dieſe Erſcheinung beſprechende Abhandlung, unter dem Titel »On Induced Contractions«. Hier ſucht er den Beweis zu liefern, daß die ſecundäre Zuckung gar nicht elektriſchen Urſprungs ſey. Er betrachtet die beſprochene Erſcheinung als ein Inductionsphänomen der unbekannten Kraft, welche in den Nerven circulirt und die Muskelcontraction hervorruft!!

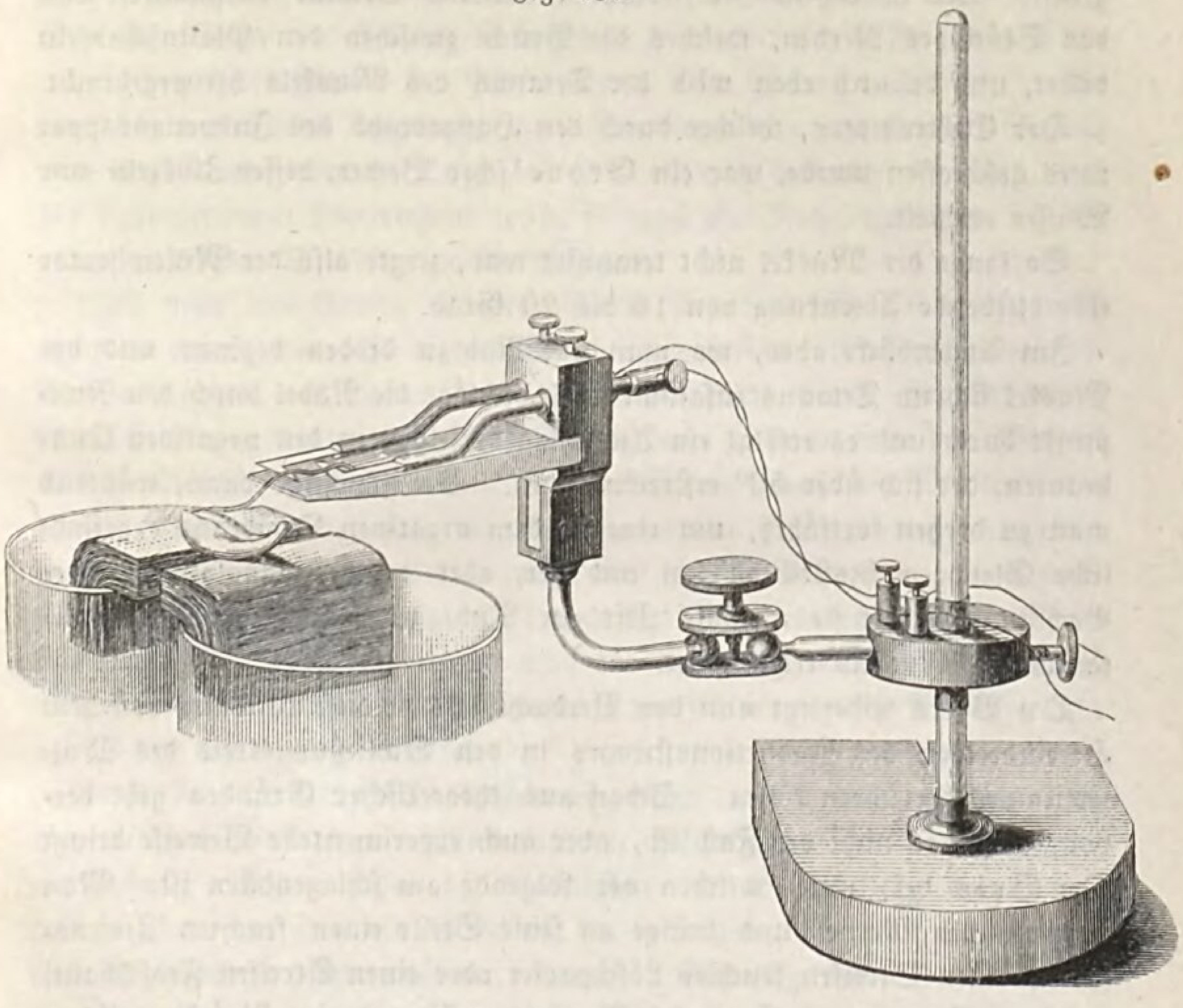
So verdanken wir denn Alles, was auf dieſem Felde wirklich für die Wiſſenſchaft gewonnen wurde, den Arbeiten Du Bois'. Wir wollen jetzt ſehen, was er aus dem von Matteucci ſo ſchlecht benutzten Material zu machen wußte.

Schon in ſeinem »vorläufigen Abriß« theilt Du Bois mit, er habe ſich durch Verſuche überzeugt, daß in der That während heftiger und andauernder Zuſammenziehung der Strom zwar bei weitem nicht verſchwindet, allein doch merklich an Intenſität abnimmt.

Fig 307 ſtellt die Vorrichtung dar, deren ſich Du Bois bediente, um den Grundverſuch dieſes Gebietes anzuſtellen. Der Gaſtroknemius wird

auf die Bäuſche gelegt und ſein Nerv über zwei Platinſchäufelchen ausgebreitet, welche in Meſſingſtäbchen eingelaſſen ſind. Dieſe Meſſingſtäb-

Fig. 307.



chen gehen durch einen Klotz von Elfenbein hindurch; ſie können vor- und rückwärts geſchoben, und in jeder beliebigen Stellung feſtgeſtellt werden. Am hintern Ende tragen dieſe Stäbchen Hülſen, in welche Drähte eingeſchraubt werden können, welche die Ströme eines Inductionsapparates zuführen können. Unter den Platinſchäufelchen befindet ſich eine vorn dünner geſchliffene Glastafel, welche in den Elfenbeinklotz eingelaſſen iſt. Sie hat zum Zweck, die Berührung der Platinſchaufeln mit den Bäuſchen zu verhindern, wenn man die Vorrichtung weiter herunter rücken muß.

Sobald der Muskel auf die Bäuſche gelegt wird, fliegt die Nadel gegen die Hemmung und ſtellt ſich endlich bei 10 bis 20 Grad ruhig ein. Nachdem das Nervenende ſo über die Schaufeln gelegt worden iſt, daß es eine Brücke zwiſchen denſelben bildet, wird nun der Muskel dadurch tetaniſirt, d. h. in Tetanus verſetzt, daß man das Unterbrechungsrad dreht, welches

in den Hauptſtrom eines Inductionsapparates eingeſchaltet iſt, während die Drahtenden des Apparates Fig. 307 zu den Drahtenden des Nebendrahtes gehen. Die in dieſem Nebendraht inducirten Ströme durchlaufen nun das Stück des Nerven, welches die Brücke zwiſchen den Platinſchaufeln bildet, und dadurch eben wird der Tetanus des Muskels hervorgebracht.

Der Elektromotor, welcher durch den Hauptdraht des Inductionsapparates geſchloſſen wurde, war ein Grove'ſcher Becher, deſſen Zinkzelle nur Waſſer enthielt.

So lange der Muskel nicht tetaniſirt war, zeigte alſo der Multiplicator eine bleibende Ablenkung von 10 bis 20 Grad.

Im Augenblicke aber, wo man das Rad zu drehen beginnt und der Muskel ſich im Tetanus zuſammenballt, ſchlägt die Nadel durch den Nullpunkt durch und es erfolgt ein Ausſchlag derſelben in den negativen Quadranten, der ſich über 50^{0} erſtrecken kann. Sie ſchwingt dann, während man zu drehen fortfährt, um eine in dem negativen Quadranten befindliche Gleichgewichtsſtellung hin und her, aber bei der Langſamkeit ihrer Bewegungen hat ſie niemals Zeit zur Ruhe zu kommen, ehe der Tetanus des Muskels erlahmt iſt.

Du Bois widerlegt nun den Verdacht, als ob dieſe Wirkung von dem Hereinbrechen des Inductionsſtromes in den Schließungskreis des Multiplicators herrühren könne. Schon aus theoretiſchen Gründen geht hervor, daß das nicht der Fall iſt, aber auch experimentelle Beweiſe bringt Du Bois bei, unter welchen der folgende am ſchlagendſten iſt: Man entferne den Nerven und bringe an ſeine Stelle einen feuchten Zwirnsfaden, einen Streifen feuchtes Löſchpapier oder einen Streifen Froſchhaut, welcher auf dem einen Ende des Muskels aufliegend eine Brücke zwiſchen den Platinſchaufeln bildet. Die leitende Verbindung zwiſchen dem Multiplicatorkreis und dem Kreis des Inductionsſtroms iſt nun ganz ſo hergeſtellt, wie vorher; wird aber nun das Unterbrechungsrad gedreht, ſo entſteht kein Tetanus im Muskel, und es zeigt ſich keine Einwirkung auf den Stand der Multiplicatornadel.

Wird der Tetanus des Muskels dadurch hervorgebracht, daß man die Reizung des Nerven auf mechaniſchem Wege, durch Wärme, durch chemiſche Einwirkung u. ſ. w. hervorbringt, ſo erhält man ähnliche Wirkungen wie beim elektriſchen Tetaniſiren, nur in ſchwächerem Maaße.

Ferner hat Du Bois gezeigt, daß der Muskelſtrom eines noch lebenden, mit Strychnin vergifteten Froſches in dem Augenblicke eine merkliche Abnahme erfährt, in welchem das Thier in Folge der Vergiftung in Tetanus geräth.

Suchen wir nun zu ermitteln, was die Bedeutung des Rückſchlags der Nadel in den negativen Quadranten iſt, welche erfolgt, wenn das Teta-

niſiren des Muskels beginnt. Beim erſten Anblick könnte man meinen, es entſtehe während des Tetanus im Muskel ein Strom, welcher demjenigen entgegengeſetzt iſt, den derſelbe im ruhenden Zuſtande zeigt. Dem iſt aber nicht ſo. Bevor das Tetaniſiren beginnt, entwickelt ſich in Folge der Galvaniſchen Polariſation der Platinplatten eine Ladung derſelben, welche einen, dem primären entgegengeſetzten Strom zu erzeugen ſtrebt. Sobald nun der Muskelſtrom in Folge des Tetaniſirens ſo weit abnimmt, daß der Ladungsſtrom überwiegend wird, ſo muß die Nadel natürlich in den entgegengeſetzten Quadranten überſchlagen.

Will man den Strom des tetaniſirten Muskels rein haben, ſo muß man an irgend einer Stelle des Multiplicatorkreiſes ein Queckſilbernäpfchen anbringen. Unterbricht man hier die Kette durch Herausnehmen eines Zuleitungsdrahtes aus dem Queckſilber, ſo kann man den Muskel auf die Bäuſche auflegen, ohne daß ein Strom durch den Multiplicator circulirt, und ohne daß ſich eine Ladung an den Platinplatten entwickeln kann. Wird nun der Muskel tetaniſirt und dann erſt die Kette beim Queckſilbernäpfchen geſchloſſen, ſo erhält man den Strom des tetaniſirten Muskels ganz rein, und zwar erfolgt nun der Ausſchlag wirklich in dem gewöhnlichen Sinne des Muskelſtromes, nur iſt er ungleich ſchwächer als beim nicht tetaniſirten Muskel.

Dieſe Abnahme des Muskelſtromes rührt nur von einer Abnahme her, welche die elektromotoriſche Kraft der Muskeln während der Zuſammenziehung erleidet. Um die Richtigkeit der Behauptung darzuthun, kommt es darauf an, die Einwürfe zu beſeitigen, die man etwa gegen dieſe Behauptung machen könnte. Unter den Widerlegungen Du Bois's gegen verſchiedene derartige Einwendungen heben wir hervor, daß die Abnahme des Muskelſtromes nicht etwa von einer Vermehrung des Leitungswiderſtandes des Muskels oder von der Veränderung ſeiner Lage auf den Bäuſchen herrühre.

Das Erſtere hat Du Bois durch die Methode der Compenſation nachgewieſen. Zwiſchen die gewöhnlichen Bäuſche wurde noch ein Zwiſchenbauſch eingeſchaltet; jeder der beiden Zwiſchenräume wurde mit einem Gaſtroknemius überbrückt und zwar ſo, daß der Strom des einen dem des andern entgegengeſetzt war; ſie wurden ſo aufgelegt, daß ſich ihre Ströme möglichſt vollſtändig compenſirten. Wurde nun der eine oder der andere Muskel in der bekannten Weiſe tetaniſirt, ſo erhielt ſtets der Strom des ruhenden Muskels das Uebergewicht, ein Reſultat, welches ſich nur durch Abnahme der elektromotoriſchen Kraft des tetaniſirten Muskels, aber nicht durch die Vermehrung ſeines Leitungswiderſtandes erklären läßt.

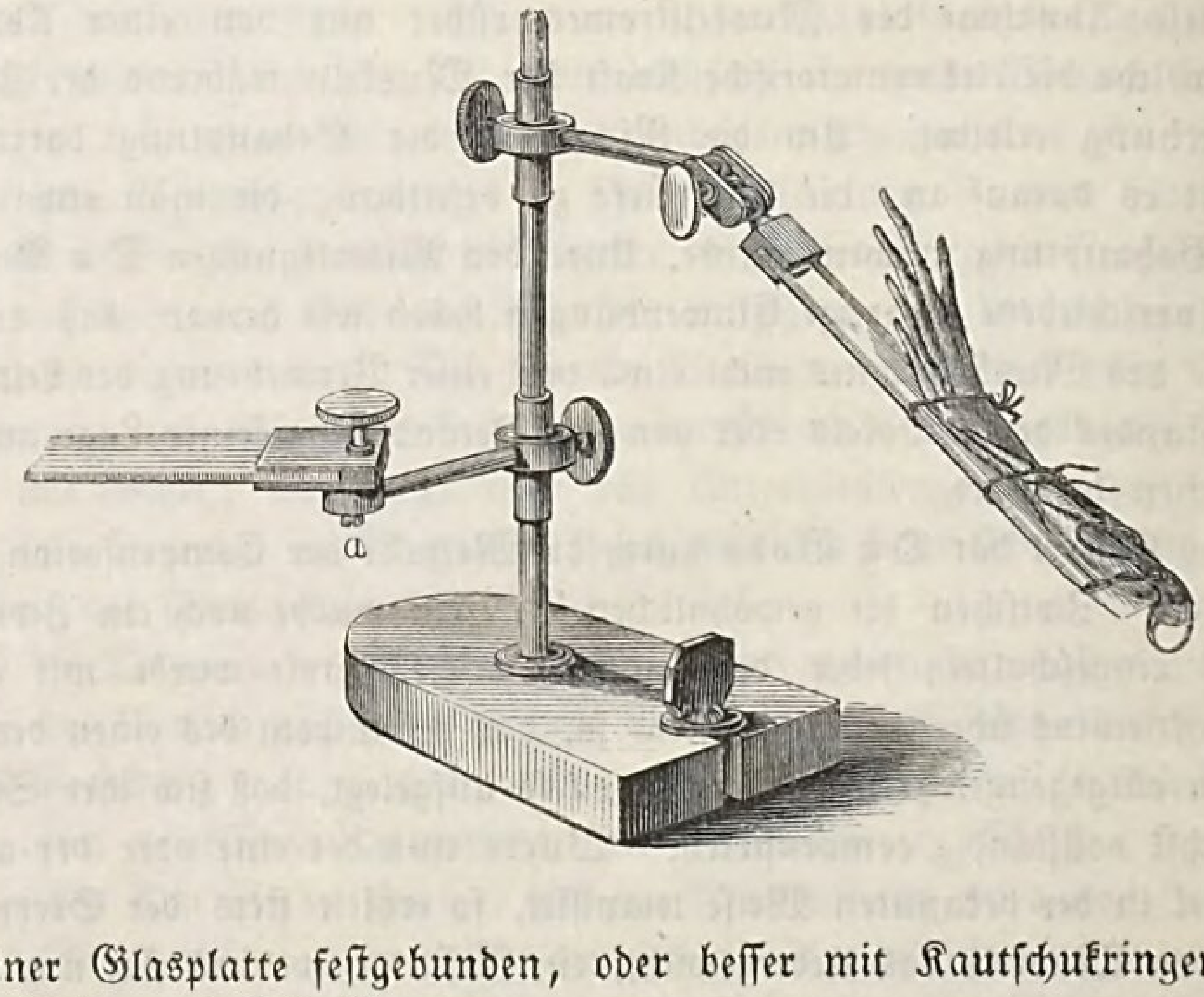
Um zu zeigen, daß nicht etwa eine Veränderung in der Lage des Muskels die Urſache dieſer Stromſchwächung ſey, ſpannte Du Bois den

Muskel in ein entſprechendes Holzgeſtell ein, und zwar machte er die Spannung ſo ſtark, daß beim Tetaniſiren des Muskels keine merkliche Formveränderung an demſelben mehr vor ſich ging; in dieſer Weiſe wurde der Muskel auf die Bäuſche aufgedrückt. Auch jetzt zeigte ſich die Abnahme des Muskelſtromes während des Tetanus.

292 **Die ſecundäre Zuckung.** Bei den Verſuchen, welche wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben, war der Multiplicator das ſtromprüfende Mittel; wir wollen nun ſehen, wie ſich der ſtromprüfende Froſchſchenkel gegen die durch den Tetanus bewirkte Veränderung des Muskelſtroms verhält. Wir können den Verſuch in zweierlei Weiſe anſtellen: entweder bleibt der Multiplicator noch im Schließungsbogen, ſo daß der Muskelſtrom den Nerven des ſtromprüfenden Schenkels und den Multiplicator zu durchlaufen hat, daß man alſo die Angaben beider Rheoſkope gleichzeitig erhält; oder man kann den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels allein zur Schließung der Kette anwenden.

Im erſten Falle muß man einen Zwiſchenbauſch anwenden. Die eine Lücke wird mit dem zu tetaniſirenden Gaſtroknemius, die andere mit dem Nerven des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt, der, wie Fig. 308 zeigt,

Fig. 308.



auf einer Glasplatte feſtgebunden, oder beſſer mit Kautſchukringen befeſtigt, iſolirt aufgeſtellt iſt.

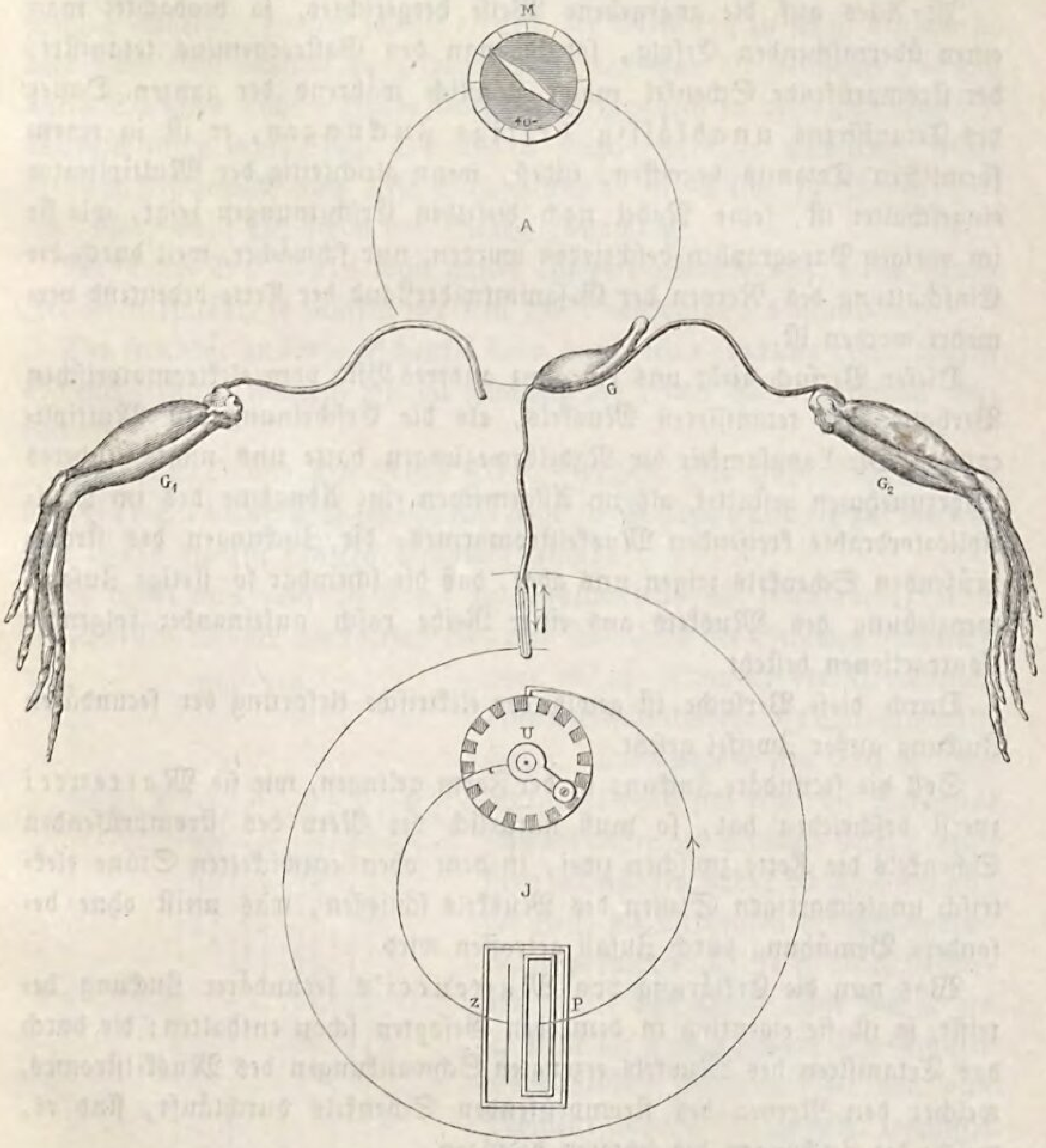
Soll der Strom nur durch den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels geleitet werden, ſo hat man den Zwiſchenbauſch nicht nöthig. Man überbrückt den Zwiſchenraum zwiſchen den Bäuſchen auf der einen Seite mit

dem Muskel, auf der anderen mit dem Nerv des ſtromprüfenden Schenkels.

Man überſieht leicht, daß dieſe Form des Verſuchs nichts anderes iſt, als eine zweckmäßige Form der Anordnung, welche Matteucci zur Hervorbringung der ſecundären Zuckung anwandte.

Fig. 309 ſtellt ſchematiſch die verſchiedenen Anordnungen dar, durch welche man die ſecundäre Zuckung erzeugen kann. Während in den Schließungs-

Fig. 309.



bogen des Zinkplatinelements das Unterbrechungsrad U eingeſchaltet iſt, wird der Nebendraht durch ein Stück des Nerven geſchloſſen, welcher dem Gaſtroknemius G angehört. Der Gaſtroknemius G ſendet nun ſeinen Strom durch den Multiplicator M und ein Stück des Nerven, welcher dem ſtromprüfenden Schenkel G_1 angehört. Man kann aber auch den

Multiplicator ganz aus dem Schließungsbogen weglaſſen, ſo daß der ſtromprüfende Schenkel G_1 das einzige Rheoſcop für den Strom des Gaſtroknemius iſt. Legt man den Nerven des ſtromprüfenden Schenkels an den Gaſtroknemius an, wie dieß in unſerer Fig. 309 mit dem Nerven des Schenkels G_2 der Fall iſt, ſo bildet das Nervenſtück allein den Schließungsbogen für den Gaſtroknemius G und das iſt die Form, wie Matteucci zuerſt den Verſuch anſtellte.

Iſt Alles auf die angegebene Weiſe hergerichtet, ſo beobachtet man einen überraſchenden Erfolg, ſobald man den Gaſtrocnemius tetaniſirt; der ſtromprüfende Schenkel macht nämlich während der ganzen Dauer des Tetaniſirens unabläſſig heftige Zuckungen, er iſt in einem förmlichen Tetanus begriffen, indeß, wenn gleichzeitig der Multiplicator eingeſchaltet iſt, ſeine Nadel noch dieſelben Erſcheinungen zeigt, wie ſie im vorigen Paragraphen beſchrieben wurden, nur ſchwächer, weil durch die Einſchaltung des Nerven der Geſammtwiderſtand der Kette bedeutend vermehrt worden iſt.

Dieſer Verſuch giebt uns ein ganz anderes Bild vom elektromotoriſchen Verhalten des tetaniſirten Muskels, als die Erſcheinung am Multiplicator. Die Langſamkeit der Nadelbewegungen hatte uns nichts Anderes wahrzunehmen geſtattet, als im Allgemeinen eine Abnahme des im Multiplicatordrahte kreiſenden Muskelſtromarmes; die Zuckungen des ſtromprüfenden Schenkels zeigen uns aber, daß die ſcheinbar ſo ſtetige Zuſammenziehung des Muskels aus einer Reihe raſch aufeinander folgender Contractionen beſteht.

Durch dieſe Verſuche iſt gewiß der elektriſche Urſprung der ſecundären Zuckung außer Zweifel geſetzt.

Soll die ſecundäre Zuckung in der Form gelingen, wie ſie Matteucci zuerſt beſchrieben hat, ſo muß natürlich der Nerv des ſtromprüfenden Schenkels die Kette zwiſchen zwei, in dem oben entwickelten Sinne elektriſch ungleichartigen Stellen des Muskels ſchließen, was meiſt ohne beſondere Bemühung durch Zufall getroffen wird.

Was nun die Erklärung von Matteucci's ſecundärer Zuckung betrifft, ſo iſt ſie eigentlich in dem eben Geſagten ſchon enthalten; die durch das Tetaniſiren des Muskels erzeugten Schwankungen des Muskelſtromes, welcher den Nerven des ſtromprüfenden Schenkels durchläuft, ſind es, welche die Zuckungen des letzteren bedingen.

Du Bois geht nun zu einer ausführlichen Kritik der Theorie über, welche Matteucci zur Erklärung der ſecundären Zuckung aufgeſtellt hat; dieſer Theorie zu Folge wäre, wie bereits bemerkt wurde, die ſecundäre Zuckung eine Art Inductionserſcheinung einer noch unbekannten Kraft, welche ſelbſt durch nichtleitende Subſtanzen hindurch wirken ſoll.

Am Ende dieſer Kritik erklärt aber Du Bois, daß er gewiſſermaßen gegen Leichen gekämpft habe. Matteucci hat unterdeſſen ſeine Anſicht über die Natur der ſecundären Zuckung abermals geändert; dem compte rendu vom 15. März 1847 zu Folge, welches Du Bois während des Druckes jener Kritik zukam, ſcheint ſich Matteucci jetzt vorzuſtellen, daß der Muskel im Augenblicke der Zuſammenziehung, gleich dem elektromotoriſchen Organe eines Zitterfiſches, dem ſtromprüfenden Nerven einen Schlag ertheile. Ferner ſcheint er noch der Meinung zu ſeyn, obſchon ſie hier nicht mehr deutlich ausgeſprochen iſt, daß man die ſecundäre Zuckung durch Schichten nicht leitender Flüſſigkeiten hindurch zu verfolgen vermöge. Wahrſcheinlich indeß, fügt Du Bois hinzu, wird er nächſtens, ſeiner Gewohnheit gemäß, auch dieſe Behauptung in der Stille zu Boden gleiten laſſen, wozu hier ſchon der Anfang gemacht iſt.

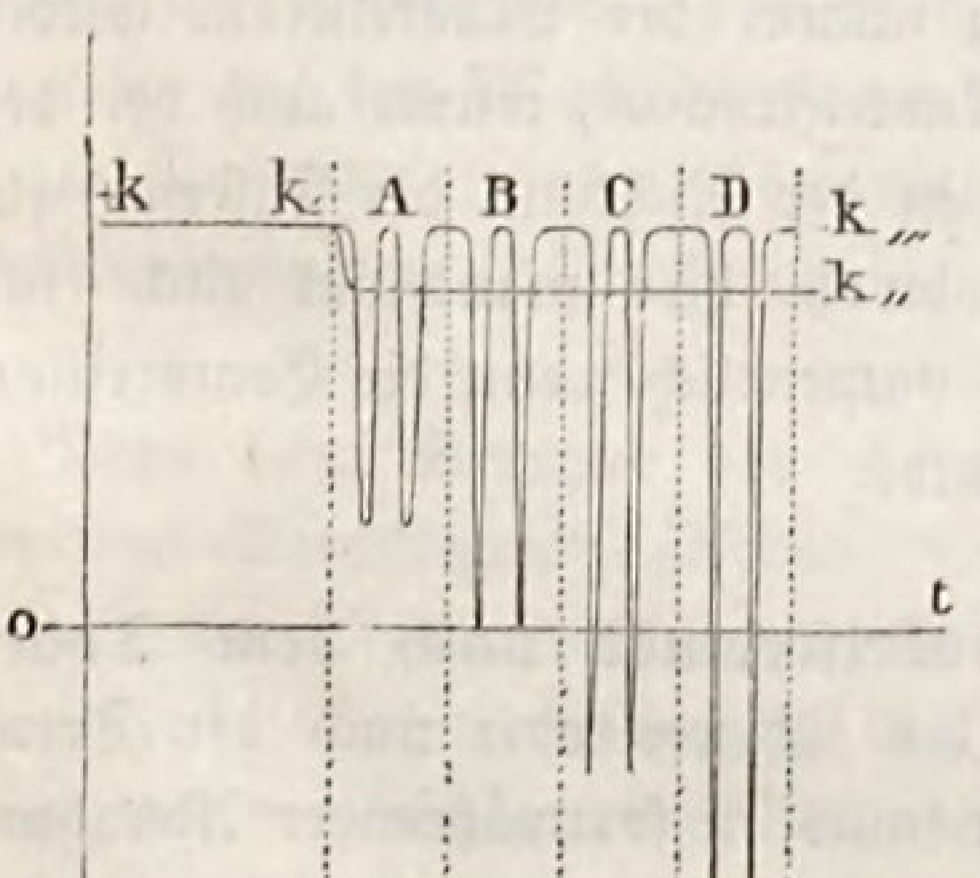
Wenn ſich Du Bois nicht weiter auf eine Widerlegung dieſer neuen Irrlehren einläßt, ſo müſſen wir ihm darin vollkommen beiſtimmen.

Der ſecundär zuckende Schenkel kann durch ſeine Zuckung einen dritten Schenckel zucken machen, wie die Zuckung des erſten die des zweiten hervorruft.

Matteucci und Du Bois haben Verſuche über dieſe Zuckungen höherer Ordnung angeſtellt, und zwar iſt Matteucci bis zur vierten, Du Bois bis zur fünften Ordnung gelangt.

Es bleibt nun noch die Frage zu beantworten, ob jeder einzelnen blitzſchnellen Muskelcontraction bloß eine Abnahme des Stromes entſpricht, oder ob im Moment der Contraction eine wirkliche Umkehr des Stromes ſtattfindet. Die Kurve in Fig. 310 verſinnlicht, wie man ſich etwa die Stromesſchwankungen des Muskels beim Tetaniſiren vorzuſtellen habe; die Abſciſſen ſind der Zeit, die Ordinaten der Stromdichtigkeit proportional; ot iſt die Abſciſſenaxe. Die horizontale Linie von k bis $k_{\prime}$ ſtellt die gleichbleibende Stromſtärke des ruhenden Muskels dar; von dem Moment an, wo der Muskel tetaniſirt wird, findet ſtoßweiſe bedeutende Abnahme des Stromes Statt, welche auf die Nadel des Multiplicators dieſelbe Wirkung hervorbringt, als ob die Stromſtärke ſtetig kleiner geworden wäre, wie es die Linie $k_{\prime}$ $k_{\prime\prime}$ darſtellt. Es iſt aber nun die Frage, ob bei dieſen Schwankungen der

Fig. 310.



Strom nur abnimmt, wie in der Abtheilung *A* dargeſtellt iſt, oder ob der Strom bei jeder Contraction bis auf Null herabſinkt, wie bei *B*, oder endlich ſogar in die entgegengeſetzte Richtung überſchlägt, wie dies bei *C* und *D* dargeſtellt iſt. Du Bois hat ſich bis jetzt vergebens bemüht, dieſe Frage zur Entſcheidung zu bringen, er erhielt nur negative Reſultate, welche keinen ſichern Schluß zulaſſen.

Du Bois formulirt die Reſultate dieſer Unterſuchungen in folgender Weiſe:

»Die Kurve der elektromotoriſchen Kraft des Muskels, bezogen auf die »Zeit, erleidet im Augenblicke der Zuſammenziehung eine äußerſt ſchnelle »Schwankung im negativen Sinne, von welcher ungewiß iſt, bis zu wel- »cher Tiefe ſie ſich erſtreckt, obſchon es, nach den vorliegenden Thatſachen »zu ſchließen, allerdings nicht wahrſcheinlich iſt, daß ſie unter der Abſciſſen- »Axe hinabreicht.«

293 **Einfluß der Ausdehnung und der Zuſammendrückung des Muskels auf die Stärke ſeines Stromes.** Du Bois ſtellte eine beſondere Verſuchsreihe an, um zu ermitteln, welchen Einfluß die Streckung und Compreſſion des Muskels auf den Strom deſſelben habe. Er ließ aber dieſe Unterſuchung ſpäter im Drange anderer Fragen liegen, da ſie ſich weniger ergiebig zeigte als ihr Anfang verſprach. Wir begnügen uns, hier nur die Hauptreſultate derſelben kurz zu bezeichnen: Durch die Streckung des Muskels, welche mittelſt einer eigenthümlichen Streckvorrichtung hervorgebracht wurde, wird eine Schwächung des Muskelſtroms bewirkt; beim Nachlaſſen der Streckung nimmt der Muskelſtrom wieder zu. Daſſelbe, nämlich Abnahme des Muskelſtromes, wurde auch bei der Compreſſion des Muskels ſowohl in der Richtung der Faſern, als auch parallel mit denſelben beobachtet, obwohl hier manchmal auch eine Vermehrung der Stromgröße ſtattfand, namentlich wenn die Compreſſion parallel mit den Faſern bewerkſtelligt wurde.

294 **Abnahme und Dauer des Muskelſtromes nach dem Tode.** Der Muskelſtrom iſt nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Muskels vom Geſammtorganismus in fortwährender Abnahme begriffen. Der Ermittelung des Geſetzes dieſer Abnahme ſetzen ſich große Schwierigkeiten entgegen. Nach Matteucci's Angaben zeigen Froſchpräparate fünf bis ſechs Stunden nach dem Tode, ja einen Tag lang in Waſſer aufbewahrt, immer noch, wenn auch ſchwache Ströme. Am raſcheſten iſt die Abnahme in den erſten 8 bis 10 Minuten, ſo daß der Multiplicatorausſchlag nach dieſer Zeit nur noch halb ſo groß erſcheint als im Anfang.

Matteucci fand ferner, daß die Dauer des Muskelſtromes um ſo kürzer ſey, je höher die Thiere auf der Rangleiter organiſcher Weſen ſtänden. So nimmt z. B. die elektromotoriſche Kraft eines Kaninchenmuskels raſcher, die eines Froſchmuskels bedeutend langſamer ab, als die eines Taubenmuskels. Dieſem Satze fügt Matteucci noch den hinzu, daß die urſprüngliche Kraft des Stromes im lebenden Thiere das umgekehrte Geſetz befolge, d. h., daß ſie bei warmblütigen Thieren größer ſey als bei kaltblütigen.

Du Bois ſagt nun, er ſey keineswegs abgeneigt, an das Daſeyn eines ſolchen Unterſchiedes zwiſchen der urſprünglichen Stromkraft warm- und kaltblütiger Muskeln zu glauben, der experimentellen Begründung dieſer Anſicht ſtellten ſich aber ſehr bedeutende Schwierigkeiten entgegen, welche Matteucci weit entfernt ſey, überwunden zu haben.

Die Abnahme des Muskelſtromes nach dem Tode betreffend, hat Du Bois gefunden, daß die elektromotoriſche Kraft des Muskels gleichen Schritt gehe mit ſeiner Erregbarkeit, daß alſo der Muskelſtrom in demſelben Maaße abnehme, wie die Reizbarkeit des Muskels, ferner daß die Todtenſtarre die Gränze ſey, welche dem Muskelſtrome geſetzt iſt. Die Erſcheinung des Muskelſtromes iſt dadurch unmittelbar als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet. Der wegen Todtenſtarre verſchwundene Strom kehrt unter keinerlei Umſtänden zurück. Faulende Glieder, nach Löſung der Todtenſtarre, wirken nicht merklich elektromotoriſch.

Du Bois beſpricht nun den Einfluß krankhafter Zuſtände und verſchiedener Todesarten des Thieres, den Einfluß verſchiedener Vergiftungen u. ſ. w. auf den Muskelſtrom; wir können dies, ohnehin nicht ſehr fruchtbare Feld um ſo eher übergehen, als es überhaupt für die Phyſik von untergeordnetem Intereſſe iſt.

Von dem Strome der verſchiedenen Gewebe. Wir haben im 295
vorigen Paragraphen geſehen, daß nach dem Tode die elektromotoriſche Kraft der Muskeln in gleichem Maaße abnimmt, wie die Erregbarkeit derſelben. Aehnliches ergiebt ſich, wenn wir verſchiedene Gewebe unter einander vergleichen, der Strom derſelben iſt um ſo ſchwächer, je weniger reizbar ſie ſind; durch die Reihe der zuſammenziehungsfähigen Gewebe hindurch hält das elektromotoriſche Vermögen gleichen Schritt mit der mechaniſchen Leiſtungsfähigkeit.

Am größten iſt die elektromotoriſche Kraft der quergeſtreiften Muskeln des Stammes; nach ihnen kommt der Herzmuskel, welcher ein Zwiſchenglied bildet zwiſchen den quergeſtreiften Muskeln und den glatten Geweben, welche nur ſchwache Ströme geben.

Die elektromotoriſche Wirkſamkeit der Herzmuskelſubſtanz hat zuerſt Matteucci nachgewieſen. Er experimentirte mit einer Säule von querdurchſchnittenen Taubenherzen. Du Bois machte den Verſuch an einzelnen Herzen von Fröſchen, dem Erdmolch (Salamandra maculata), dem Meerſchweinchen und der Hausmaus; der künſtliche Querſchnitt iſt negativ gegen die Außenfläche. Auch unverletzte Herzen gaben lebhafte Ausſchläge und zwar ſtellt die Spitze des Herzens hier den natürlichen Querſchnitt war.

Weit weniger ſtark iſt der Strom vom Muskelmagen der Vögel. Ein Taubenmagen mit natürlichem Längsſchnitt und künſtlichem Querſchnitt gab im richtigen Sinne einen erſten Ausſchlag von 25° am Du Bois'ſchen Multiplicator.

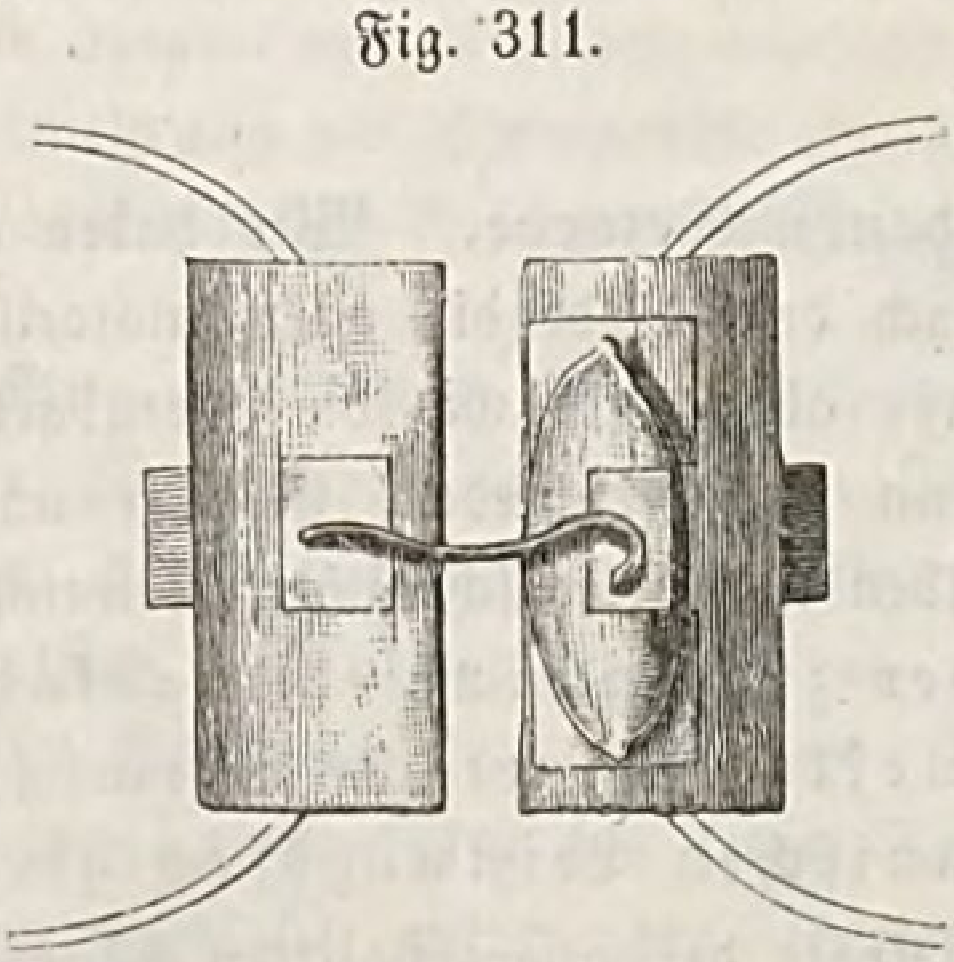
Die Wandung des Magens oder des Darmes vom Froſche giebt, mit einem Punkte ihrer äußeren Fläche gegen einen beliebig zur Axe des Darmes laufenden Schnittrand aufgelegt, ſchwache Wirkungen innerhalb der erſten 15° im Sinne des Geſetzes des Muskelſtromes.

Eine Sehne vom Kaninchen mit natürlichem Längsſchnitt und künſtlichem Querſchnitt gab nur 5, höchſtens 8 Grad Ausſchlag, der zwar meiſt wie beim Muskel gerichtet iſt, allein ſehr leicht unregelmäßig wird.

Stücke von Lunge, Leber, Niere gaben ebenfalls nur ſehr ſchwache Ströme, die ſich dem gemeinſamen Geſetze des Nerven- und Muskelſtromes nur mangelhaft unterordnen.

Die Berührung verſchiedener Gewebe zeigt ſich elektromotoriſch unwirkſam. Will man den Verſuch anſtellen, ſo iſt klar, daß die beiden Gewebe ſo gelagert ſeyn müſſen, daß jedes einzelne an und für ſich durch die ihm eigenthümlichen elektromotoriſchen Kräfte nicht auf die Nadel einzuwirken vermöge. Hat man es z. B. mit Nerv und Muskel zu thun, ſo wird man ihnen die in Fig. 311 dargeſtellte Lage anweiſen müſſen. Du Bois hat die elektromotoriſche Unwirkſamkeit der Berührung verſchiedener Gewebe nachgewieſen an allen möglichen Combinationen vom Muskel, Nerv, Sehne, Haut und Knochen. Dadurch iſt nun natürlich auch Volta's Erklärung der Zuckung ohne Metall (Seite 774) auf das vollſtändigſte widerlegt.

Fig. 311.



296 **Der Nervenſtrom.** Da die Vorſtellung von der Identität des Nervenagens mit der Elektricität ſchon eine alte und viel verbreitete iſt, ſo iſt

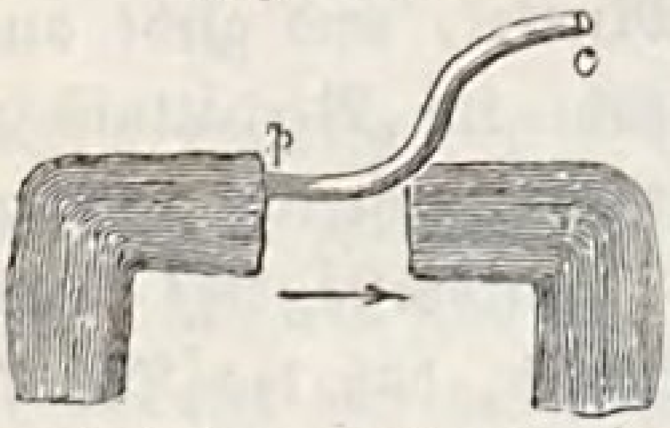
begreiflich, daß mannichfache Beſtrebungen gemacht wurden, elektriſche Wirkungen von den Nerven zu erhalten. Du Bois hat die hierher gehörigen hiſtoriſchen Notizen zuſammengeſtellt; wir übergehen ſie hier. — Nachdem Matteucci in Beziehung des elektriſchen Verhaltens der Nerven an verſchiedenen Orten viel Verworrenes und Widerſprechendes publicirt hatte, ſagt er im Jahre 1844 (Annales de Chimie et de Physique 3 série t. XII. p. 579): Nous croyons être autorisés à conclure qu'il n'existe aucune trace de courants électriques dans les nerfs des animaux vivants, appréciable à l'aide des instruments que l'on possède aujourd'hui.

So bleibt denn Du Bois allein die Ehre, den Nervenſtrom entdeckt zu haben. Bereits in ſeinem »vorläufigen Abriß« hat er die elekromotoriſche Wirkung des Nervus ischiadicus vom Froſch und vom Kaninchen beſprochen.

Folgendes iſt das Verfahren, welches Du Bois anwandte, um den Nervenſtrom zu beobachten und ſeine Geſetze zu ermitteln.

Ein aus dem Nervus ischiadicus eines friſch getödteten Froſches ſo eben ausgeſchnittenes Stück wird ſo auf die Bäuſche gelegt, daß es einerſeits mit dem natürlichen Längsſchnitt, andererſeits mit dem künſtlichen Querſchnitt berührt wird, wie dies Fig. 312 angedeutet iſt. Auf dieſe Weiſe erfolgt ein Ausſchlag, der unter Umſtänden 25 bis 30° betragen kann, ſich aber gemeiniglich auf 15 bis 18° beläuft und welcher ohne Ausnahme vom Punkt des natürlichen Längsſchnittes durch den Multiplicatordraht zum künſtlichen Querſchnitt, alſo wie beim Muskel, gerichtet iſt und eine beſtändige Ablenkung von 5 bis 8° zurückläßt.

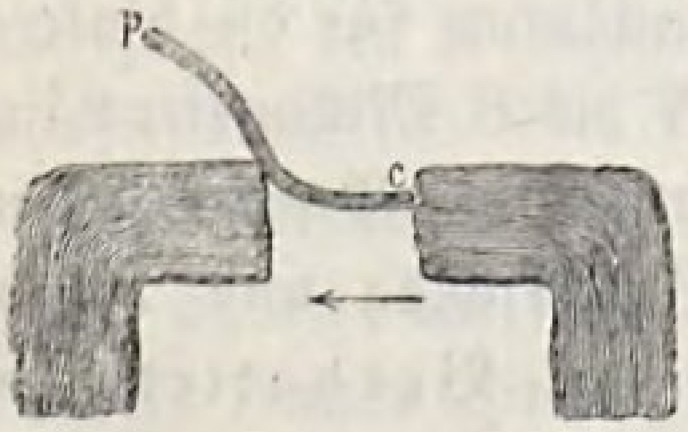
Fig. 312.



Die Bäuſche ſind bei dieſem Verſuch natürlich mit Eiweißhäutchen verſehen; auf demjenigen, der mit dem Längsſchnitt berührt werden ſoll, befindet ſich außerdem noch ein Stückchen Glimmer oder Wachstaffent, auf welches man das Nervenende auflegt, deſſen Querſchnitt nicht ins Spiel kommen ſoll.

Es iſt in Betreff der Stromrichtung völlig gleichgültig, welchen der beiden künſtlichen Querſchnitte man auflege, ob den dem Urſprunge (in den Figuren mit *c* bezeichnet), oder den der Ausbreitung (*p*) der Nerven näher gelegenen, wie in Fig. 313 angedeutet iſt. Man kann auch den Nerven in der Mitte ſeiner Länge zuſammenfalten und die beiden Querſchnitte gleichzeitig auf den einen, die Schlinge auf den anderen Bauſch auflegen, wie Fig. 314 f. S.; man erhält einen ſtarken Strom im richtigen Sinne.

Fig. 313.



Wird der Bauſch beiderſeits mit künſtlichem Querſchnitt berührt, wie Fig. 315, ſo bleibt die Nadel ungeſtört, wenn der Verſuch gut gelingt.

Fig. 314

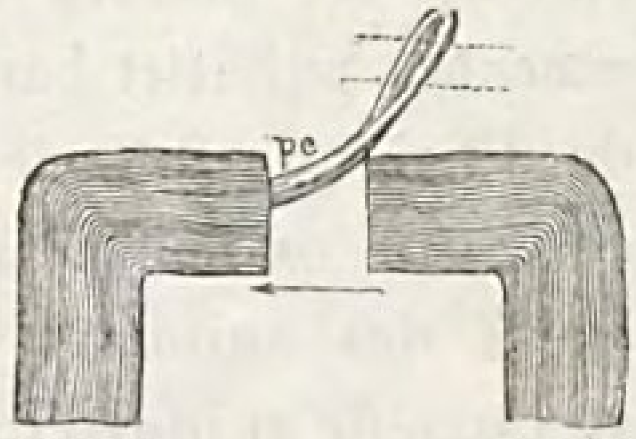
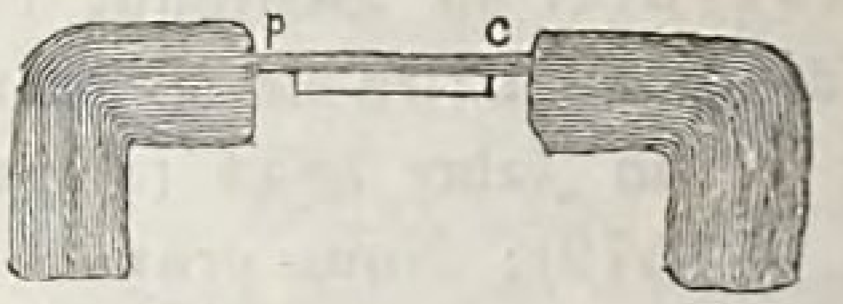


Fig. 315.

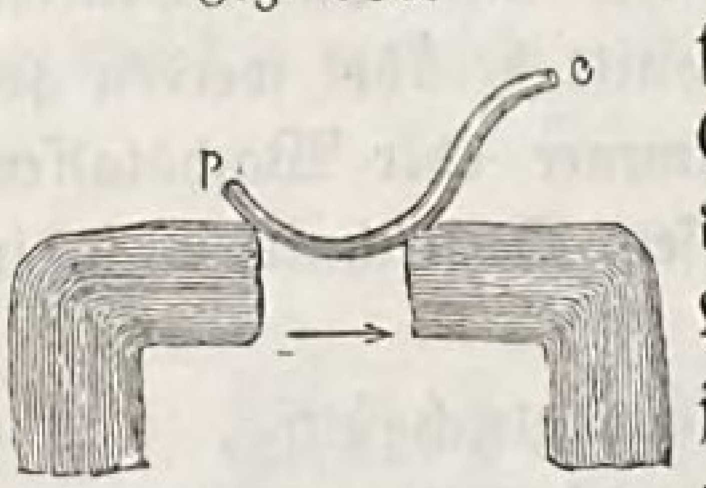


Meiſtens aber erhält man ſchwache Ablenkungen, jedoch höchſtens bis zu 8^{0}, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, was ſich leicht aus der Schwierigkeit erklärt, die Bäuſche *nur* mit Querſchnitt zu berühren.

Wegen der Kleinheit des Nervenquerſchnittes kann natürlich nicht die Rede davon ſeyn, das elektromotoriſche Verhalten verſchiedener Punkte des Querſchnittes gegen einander zu unterſuchen, die Erforſchung der einzelnen Punkte des Längsſchnittes bietet dagegen keine Schwierigkeit dar. Sie geſchieht auf die nämliche Weiſe, wie beim Muskel, und giebt auch gleiche Reſultate. Man erhält Wirkungen, welche im Verhältniß zu den beim Auflegen vom Längs- und Querſchnitt beobachteten ſehr gering ausfallen. Die Ausſchläge betragen 6 bis 7^{0}, die beſtändige Ablenkung 2 bis 4^{0}. Sie ſind im Allgemeinen ſo gerichtet, daß die Punkte, welche näher bei der Mitte der Länge des Nervenſtücks liegen, poſitiv ſind gegen die näher gegen die Enden hin liegenden. Fig. 316.

Werden zwei Punkte des Nerven aufgelegt, welche gleich weit von der Mitte entfernt ſind, ſo beobachtet man keine elektromotoriſche Wirkung.

Fig. 316.



Das iſt die Erſcheinungsweiſe des Nervenſtromes an den gemiſchten Nervenſtämmen der Extremitäten, als deren Repräſentant der Iſchiadicus gewählt wurde, weil er wegen ſeiner Länge zum Verſuch der bequemſte iſt. Es bleibt jetzt noch übrig, das Verhalten des Nervenſtromes an anderen Theilen des Nervenſyſtems, an den Centralgebilden ſowohl, als auch an den reinen Empfindungs- und Bewegungsnerven zu unterſuchen.

Was die reinen Bewegungs- und Empfindungsnerven betrifft, ſo bieten die vorderen und hinteren Wurzeln der Nervenſtämme für die hinteren Extremitäten des Froſches, welche man leicht in 7 bis 8 Millimeter Länge erhält, eine willkommene Gelegenheit zur Erledigung dieſes Punktes. Eine ſolche Wurzel giebt mit Leichtigkeit 20 bis 25^{0} Ausſchlag und 10^{0} beſtändiger Ablenkung. *Das elektromotoriſche Verhalten der*

vorderen und hinteren Wurzeln bietet keinen Unterſchied dar; wie bei den gemiſchten Nervenſtämmen, ſo iſt auch bei den reinen Bewegungs- und bei den reinen Empfindungsnerven der Querſchnitt negativ gegen die Seitenfläche.

Mit dem Nervus opticus des Froſches zu experimentiren, iſt wegen ſeiner Kürze ſehr ſchwierig; Du Bois wählte, ſtatt deſſen den Nervus opticus von Fiſchen, namentlich den vom großen Schley. Dieſer giebt 40 bis 45^0 Ausſchlag. Auch hier gilt das gleiche Geſetz in Beziehung auf die Stromesrichtung.

Jede Schnittfläche des Gehirns verhält ſich negativ gegen Punkte der Außenfläche. Ebenſo iſt jeder Querſchnitt des Rückenmarks negativ gegen ſeine Außenfläche.

Du Bois hat ſich durch Verſuche von der gleichen Geſetzmäßigkeit des Nervenſtromes beim Menſchen, dem Kaninchen, dem Meerſchweinchen, der Hausmaus, der Taube, der Schildkröte, der Eidechſe, dem Waſſer-, Gras- und Laubfroſch, dem Erdmolch, dem Schley und dem Flußkrebſe überzeugt.

Erörterung des Geſetzes des Nervenſtromes. Wir haben nun gesehen, daß der Nervenſtrom denſelben Geſetzen folgt, wie der Muskelſtrom; wir ſind alſo berechtigt, alle Schlüſſe, die rein phyſikaliſch für den Muskel aus der Erſcheinungsweiſe ſeines Stromes folgten, unmittelbar auf den Nerven zu übertragen und elektromotoriſche Molekeln in den Nerven als Erzeugerinnen des Stromes zu betrachten. Gleich den Muskeln ſind demnach die Nerven fortwährend als im Zuſtande der geſchloſſenen Kette zu betrachten; wie bei den Muskeln, ſo iſt auch jeder Strom, der von den Nerven gewonnen wird, als durch Nebenſchließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm anzuſehen; endlich gilt für die Nerven wie für die Muskeln die Bemerkung, daß die Stärke des Stromes, wie er im Multiplicator ſich kundgiebt, nicht das geringſte ausſage über die Stärke, die dem Strom in der nächſten Nähe der ihn entwickelnden Molekeln zukommen mag. 297

Was nun zunächſt die elektromotoriſche Kraft der Nervenmolekeln, verglichen mit derjenigen der Muskelnmolekeln betrifft, ſo iſt es begreiflich leider nicht möglich, ſich darüber irgend einen genauen Aufſchluß zu verſchaffen, jedoch läßt ſich mit ziemlicher Sicherheit die Behauptung aufſtellen, daß der Nervenſtrom unter ſonſt gleichen Umſtänden dem Muskelſtrome an Stärke nicht nachſteht, ja vielleicht ihn in den erſten Augenblicken übertrifft.

Wir haben eben nur die Wirkungen des Nervenſtromes auf den Multiplicator kennen gelernt; allein auch phyſiologiſche Wirkungen des Ner-

venſtromes hat Du Bois zu Stande gebracht. Sein Verfahren iſt folgendes:

Nachdem man ſich durch den Multiplicator von der Gleichartigkeit aller Theile überzeugt hat, kann man denſelben aus der Kette entfernen und ein Queckſilbernäpfchen einſchalten, ſo daß das Oeffnen und Schließen des Kreiſes mittelſt eines verquickten Kupferhakens metalliſch vollzogen werden kann. Der ſtromprüfende Froſchſchenkel iſt auf der Glasplatte des allgemeinen Trägers Fig. 308 auf Seite 822 befeſtigt und das Hirnende ſeines Iſchiadnerven wird mit Längs- und Querſchnitt über die mit Eiweißhäutchen verſehenen Bäuſche gedrückt. Beim Schließen und manchmal auch beim Oeffnen der Kette zuckt der Schenkel.

Man hat nicht einmal eine metalliſche Schließung nöthig. Hat man auf der einen Seite der Bäuſche den Zwiſchenraum derſelben in gehöriger Weiſe durch den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt, ſo zuckt derſelbe, wenn man die Kette durch Auflegen des Schließungsbauſches auf der anderen Seite ſchließt. Natürlich muß das Präparat einen hohen Grad von Empfindlichkeit haben, wenn dieſer Verſuch gelingen ſoll.

298 **Der elektrotoniſche Zuſtand der Nerven.** Wir ſchreiten jetzt zu der Unterſuchung, wie ſich der Nervenſtrom verhalte, während das ſogenannte Nervenprincip in Thätigkeit iſt, alſo während der Nerv nach dem Muskel zu, oder den Centralgebilden hin die materiellen Veränderungen fortpflanzt, die wir als Bewegung, als Empfindung wahrnehmen.

Die Unterſuchung hat hier zunächſt ganz gleiche Form mit derjenigen über das Verhalten des Muskelſtromes während der Zuſammenziehung. Sie zerfällt abermals in Verſuche am Multiplicator und in die am Froſchſchenkel, welche die erſteren ergänzen.

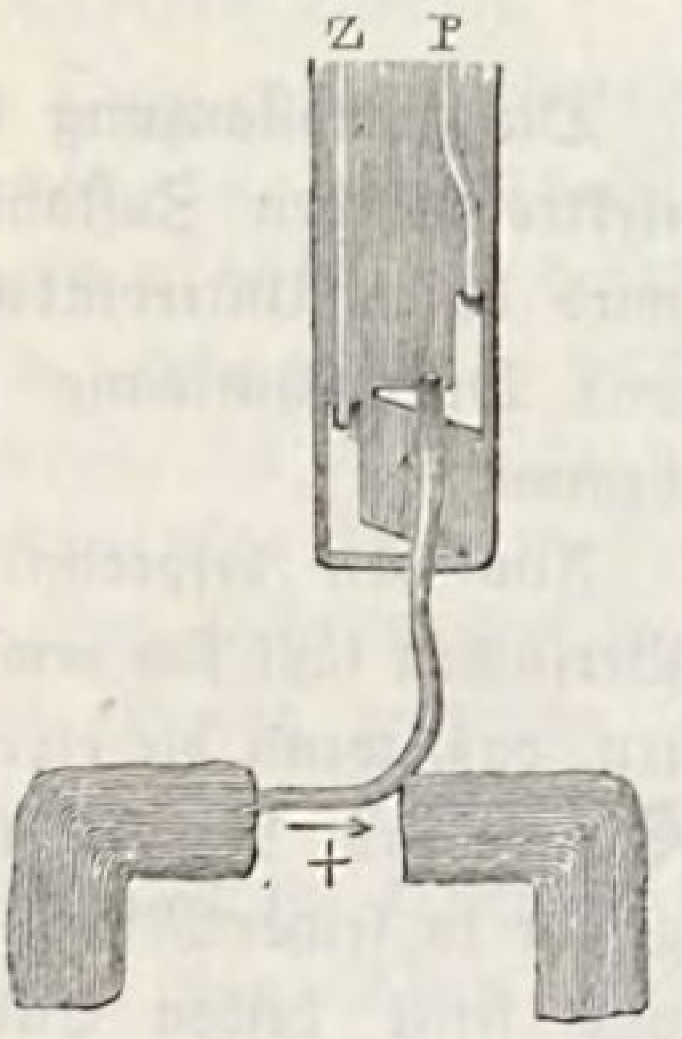
Die nächſte Bemühung muß nun dahin gehen, ein Verfahren ausfindig zu machen, wodurch wir den Nerven in einen Zuſtand verſetzen können, der in Bezug auf ſeine beſonderen Lebensäußerungen daſſelbe vorſtellt, was beim Muskel das Tetaniſiren. Dieſer Zuſtand iſt für den bewegenden Nerven offenbar der, welcher Tetanus in den zugehörigen Muskeln zur Folge hat; für den Empfindungsnerven ein ſolcher, wo eine irgend wie beſchaffene, aber möglichſt lebhafte Empfindung entweder ſtetig oder in einzelnen Anfällen ſtattfindet, die ſich in ununterbrochen dicht gedrängter Reihe wiederholen. Wir wollen der Kürze und Bequemlichkeit wegen fortfahren, eine jede Verſuchsweiſe, wodurch ein ſolcher Zuſtand der Nerven, gleich viel, ob bewegender oder empfindender Art, hervorgerufen wird, mit dem Ausdruck »Tetaniſiren« zu bezeichnen.

Ehe wir jedoch zu dieſer Unterſuchung ſelbſt ſchreiten, haben wir noch

den Einfluß ſtetiger Ströme auf die Nerven kennen zu lernen, welche die Annahme eines elektrotoniſchen Zuſtandes in denſelben bedingt.

Ein Nerv ſey auf die Bäuſche und die bekannten Platinſchäufelchen ſo aufgelegt, wie es Fig. 317 zeigt. Der Strom des zwiſchen den Bäuſchen befindlichen Nervenſtückes wird am Multiplicator eine beſtändige Ablenkung hervorbringen. Bringt man nun die Stäbchen, in welche die Platinſchäufelchen eingelöthet ſind, mit dem poſitiven und negativen Pole eines einfachen Grove'ſchen Bechers in metalliſche Verbindung, daß alſo ein conſtanter Strom durch das hier aufliegende Nervenſtück hindurchgeht, ſo findet je nach der Richtung dieſes Stromes eine Zunahme oder eine Abnahme des am Multiplicator beobachteten Nervenſtromes Statt.

Fig. 317.



Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenſtrome in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreiſe begriffen iſt, wie es unſere Figur andeutet, ſo findet anſcheinend Vergrößerung des Nervenſtromes Statt; es findet anſcheinend Verkleinerung Statt, wenn beide Ströme in den Nerven entgegengeſetzte Richtung haben.

Eine beſtändige Ablenkung von 8°, welche der urſprüngliche Nervenſtrom hervorbrachte, erlitt im einen Falle einen bleibenden Zuwachs von 2 bis 3 Graden, im andern Falle eine eben ſo große Abnahme, nachdem im Moment der Schließung der erregenden Kette natürlich ein größerer Ausſchlag nach der einen oder anderen Seite erfolgt war.

Den mittelſt der Platinſchäufelchen durch ein Nervenſtück hindurchgeleiteten Strom wollen wir den erregenden Strom nennen.

Den Zuſtand der Veränderung ſeiner elektromotoriſchen Kräfte, welche durch den erregenden Strom hervorgebracht wird, nennt Du Bois den elektrotoniſchen Zuſtand des Nerven.

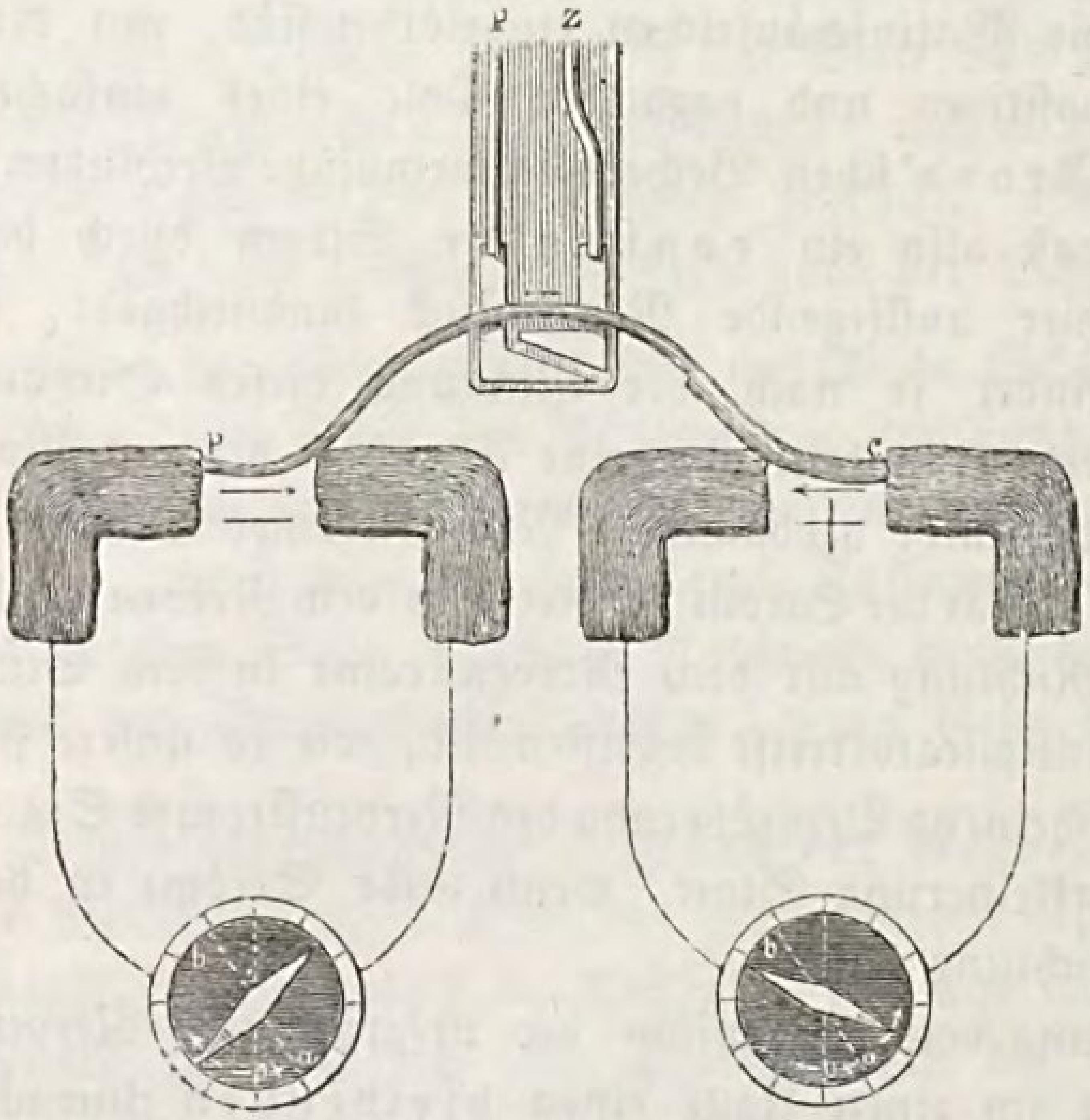
Von der Strecke eines im elektrotoniſchen Zuſtande befindlichen Nerven, welche Vermehrung ihres urſprünglichen Stromes zeigt, wollen wir ſagen, ſie ſey in der poſitiven Phaſe dieſes Zuſtandes begriffen. Die negative Phaſe deſſelben ſchreiben wir der Strecke zu, welche Verminderung ihres urſprünglichen Stromes zeigt.

Die Strecke des Nerven, welche auf den Bäuſchen ruht, und von welcher der Nervenſtrom in den Multiplicatorkreis abgeleitet wird, heiße die abgeleitete Strecke des Nerven; die auf den Platinblechen der ſtromzuführenden Vorrichtung liegende, welche dem erregenden Strome ausgeſetzt wird, die erregte Strecke deſſelben.

Auch hier liefert Du Bois wieder den Beweis, daß dieſe Erſcheinungen ſo wenig, wie die oben auf Seite 820 betrachteten, von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis herrühren können.

Der elektrotoniſche Zuſtand zeigt ſich um ſo weniger ſtark, je weiter die abgeleitete Strecke von der erregten iſt.

Fig. 318.



Die Fortpflanzung des elektrotoniſchen Zuſtandes wird durch Unterbindung und Durchſchneidung gehemmt.

Aus den beſprochenen Verſuchen läßt ſich erwarten, daß, wenn die erregte Strecke des Nerven ungefähr in ſeiner Mitte liegt und ſeine beiden Enden abgeleitet ſind, wie dies Fig. 318 zeigt, daß man alsdann am einen Nervenende eine Zunahme des Stromes, am anderen dagegen eine Abnahme deſſelben beobachten werde, wenn ein conſtanter Strom die erregte Strecke durchläuft.

Zur Anſtellung dieſes Verſuchs ſind natürlich zwei Multiplicatoren nöthig; ebenſo iſt klar, daß man ihn nur mit den Nerven von ungewöhnlich großen Fröſchen anſtellen kann. Du Bois fand unter den angegebenen Umſtänden wirklich, daß die Ablenkung des einen Multiplicators zu-, die des andern abnahm.

Wird der Nerv nicht, wie es Fig. 317 zeigt, einerſeits mit dem Querſchnitt, andererſeits mit dem natürlichen Längsſchnitt, ſondern mit zwei Stellen des natürlichen Längsſchnittes auf die Bäuſche gelegt, ſo alſo, daß der urſprüngliche Nervenſtrom ungleich ſchwächer iſt als im vorigen Fall, ſo tritt beim Schließen der erregenden Kette die fragliche Veränderung im Nervenſtrom mit nicht geringerer Stärke ein, als in dem zuerſt betrachteten Falle. — Rückt die abgeleitete Strecke der Mitte des ganzen Nervenſtückes näher, ſo wird bekanntlich der Nervenſtrom immer ſchwächer, die Veränderung des Stromes aber nimmt nicht ab, die wir eintreten ſehen, wenn die über den Platinſchäufelchen liegende Nervenſtrecke von einem conſtanten Strom durchfloſſen wird. Wenn gerade das

Mittelſtück des Nerven die abgeleitete Strecke bildet, ſo zeigt der Multiplicator gar keinen Nervenſtrom. Wir ſehen aber dieſes ſtromloſe Stück ſogleich elektromotoriſch werden, ſobald die erregte Strecke von einem Strom durchlaufen wird, und zwar iſt der Strom, welchen die abgeleitete Strecke in dieſem Falle liefert, im Nerv gleichgerichtet mit dem erregenden Strome.

Dieſe ganze Erſcheinungsreihe läßt ſich kurz ſo zuſammenfaſſen: Sobald irgend eine Strecke der Länge eines Nerven von einem elektriſchen Strome durchfloſſen wird, fängt der Nerv an, abgeſehen von ſeiner gewöhnlichen Stromentwickelung, in allen ſeinen Punkten elektromotoriſch zu wirken und zwar in dem Sinne jenes erregenden Stromes ſelber.

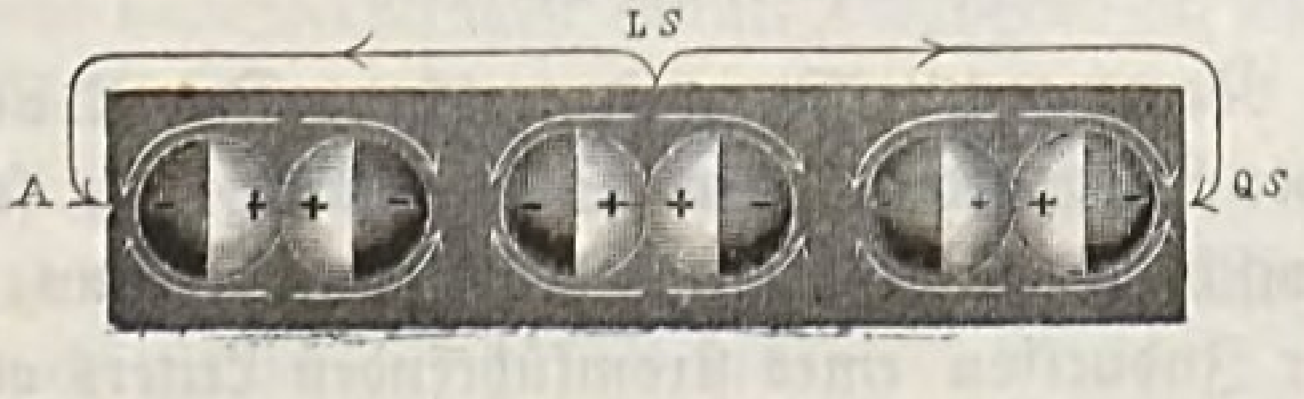
Die elektromotoriſche Thätigkeit, welche wir unter dieſen Umſtänden am Nerven auftreten ſehen, iſt weſentlich verſchieden von derjenigen, welche den Nervenſtrom bedingt. Hier fällt der Unterſchied zwiſchen Längs- und Querſchnitt ganz weg und der Nerv wird nach Art der Volta'ſchen Säule elektromotoriſch; zur Erklärung des elektrotoniſchen Zuſtandes müſſen wir alſo annehmen, daß die einzelnen elektromotoriſchen Theilchen ſäulenartig geordnet ſind, daß der Strom, welcher die erregte Strecke des Nerven durchläuft, eine ſäulenartige Polariſation in der ganzen Länge des Nerven hervorbringt.

Die Anordnung der elektromotoriſchen Kräfte, die wir im elektrotoniſchen Zuſtande wirkſam werden ſehen, iſt derjenigen an einer unter Waſſer getauchten oder überall mit einer Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Säule zu vergleichen. Die elektromotoriſchen Molekeln aber, welche gehörig geordnet, das Bild einer Säule geben ſollen, müſſen nothwendig dipolar ſeyn, einem zuſammengelötheten Plattenpaare vergleichbar.

Zur Erklärung des urſprünglichen Nervenſtromes haben wir aber die zur Erklärung des Muskelſtromes aufgeſtellte, auf S. 816 beſprochene Hypotheſe peripolarer Molekeln auf die Nerven übertragen. Es fragt ſich nun, wie ſich dieſe Annahme mit dem Eintreten des elektrotoniſchen Zuſtandes in Zuſammenhang bringen läßt?

Du Bois löſt dieſe Schwierigkeit in folgender Weiſe: — Man kann ſich die peripolaren Molekeln aus je zwei dipolaren zuſammengeſetzt und dieſe dann in der Weiſe geordnet denken, wie dies Fig. 319 zeigt. Bei dieſer Anordnung der elektromotoriſchen Molekeln im Nerven wird derſelbe den gewöhnlichen Nervenſtrom

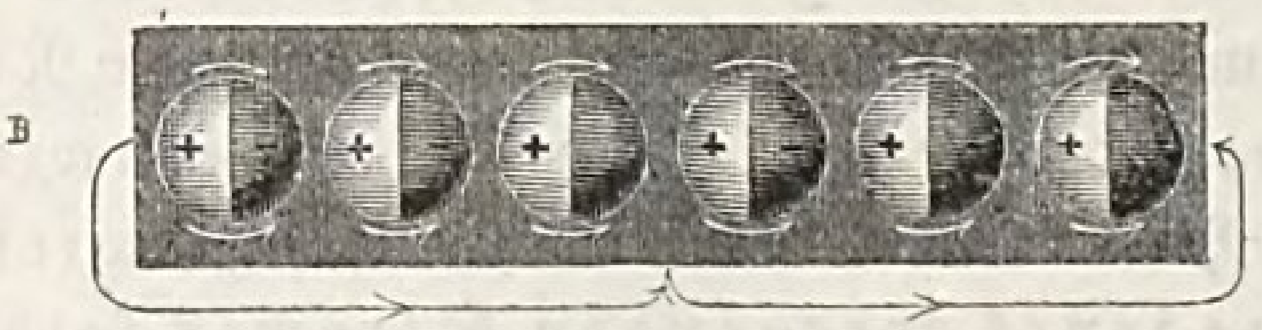
Fig. 319.



zu entwickeln im Stande ſeyn. Beim Uebergang in den elektrotoniſchen Zuſtand trennen ſich nun die beiden dipolaren Molekeln, welche vorher zu einem peripolaren verbunden waren, und die Hälfte derſelben dreht ſich ſo, daß nun die poſitiven Hälften alle nach einer, die negativen nach der anderen Seite gerichtet ſind, wie dies Fig. 320 andeutet.

Der elektrotoniſche Zuſtand bietet in mancher Beziehung Aehnlichkeit mit dem Vorgange der Innervation dar, deshalb aber darf doch die ſäulenartige Polariſation keineswegs für einerlei gehalten werden mit dem Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, welcher nur in dem Augenblicke des Hereinbrechens, Aufhörens, Umſetzens des Stromes ſtattfindet, nur durch Schwankungen der Stromdichte in den Nerven hervorgerufen wird, während der elektrotoniſche Zuſtand in gleicher Weiſe anhält, ſo lange die Kette geſchloſſen iſt.

Fig. 320.



Schon damals, als bei Ritter und P. Ermann die erſten Grundzüge einer Theorie der Zuckungen auftauchten, machte ſich die folgende Vorſtellungsweiſe geltend: daß nämlich der Bewegung vermittelnde Vorgang, der im Augenblick der Schließung der Kette entſtehe, von dem Uebergang des Nerven in einen veränderten Zuſtand herrühre; daß die Thätigkeit des Stromes eben darin beſtehe, den Nerven in dieſen veränderten Zuſtand zu verſetzen und ſo lange er ſelber andaure, auch darin zu erhalten; daß nämlich die Oeffnungszuckung nichts ſey, als die Folge des Rücktritts des Nerven aus dem veränderten Zuſtand in den natürlichen.

Du Bois ſtellt nun die Anſicht auf, daß wir in dem elektrotoniſchen Zuſtande jene dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom wirklich erkannt haben. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, ſo ergeht es letzterem gleich jedem andern feuchten Leiter. Es wird Elektrolyſe eingeleitet, welche mit ſäulenartiger Polariſation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung bedingt jene Gleichgewichtsſtörung, die als Schließungszuckung, Schließungsſchmerz ſich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung iſt es, welche den Oeffnungsſchlag veranlaßt. Die galvaniſche Reizung iſt uns nichts mehr, als die erſte Stufe der Elektrolyſe eines Nerven.

Was die Wahl des Namens betrifft, mit welchem Du Bois die dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom belegt, ſo ſagt er darüber Folgendes: Zwiſchen dem Vorgange der Nervenerregung durch den Strom und dem der Induction eines ſtromführenden Leiters oder ei-

nes Magneten auf einen benachbarten Leiter findet eine Aehnlichkeit Statt, die bereits oben erwähnt wurde.

Faraday nahm an, daß in dem inducirten Drahte eine Veränderung vor ſich gehe, welche ſo lange andauere, wie die inducirende Urſache ſelber.

Den Schließungsſtrom betrachtet er als den Ausdruck des Uebergangs vom gewöhnlichen Zuſtand des Nebendrahtes in den veränderten, während ſich die Rückkehr aus dem veränderten Zuſtand in den gewöhnlichen durch den Oeffnungsſchlag kundgiebt. — Dieſer veränderte Zuſtand nun, in welchem ſich der inducirte Draht vom Schließungsſchlage an bis zum Trennungsſchlage befindet, nennt nun Faraday den elektrotoniſchen Zuſtand. Anfangs konnte er keine weiteren Beweiſe für die wirkliche Exiſtenz dieſes hypothetiſchen Zuſtandes beibringen und erſt viel ſpäter gelang es ihm durch optiſche Mittel, wirklich eine Veränderung des Molekularzuſammenhanges verſchiedener Körper durch magnetiſirende Einflüſſe darzuthun.

Will man nun den Vergleich der Induction mit der Nervenerregung vollends durchführen, ſo iſt klar, daß die ſäulenartige Polariſation der Nerven durch den Strom, Faraday's elektrotoniſchem Zuſtande der Materie entſpricht; man kann alſo den in dieſem Paragraphen beſprochenen Zuſtand der Nerven nicht paſſender bezeichnen, als wenn man ihn den elektrotoniſchen Zuſtand der Nerven nennt.

**Verhalten des Nervenſtromes beim Tetaniſiren auf elektri- 299
ſchem Wege.** Läßt man eine Reihe gleichgerichteter Stromſtöße von kurzer Dauer durch das auf den Platinſchäufelchen aufliegende Nervenſtück hindurchgehen, ſo zeigt die abgeleitete Strecke immer noch die poſitive und negative Phaſe des elektrotoniſchen Zuſtandes, die wir im vorigen Paragraphen kennen lernten. — Schaltet man in den Kreis der erregenden Kette ein Unterbrechungsrad ein, ſo erhält man beim Drehen deſſelben die Ausſchläge in demſelben Sinne, als ob man die erregende Kette ſtetig geſchloſſen hätte, ſo kurz auch die Dauer der jedesmaligen Schließung ſeyn mag. Das Unterbrechungsrad, deſſen Du Bois ſich bediente, war ſo eingerichtet, daß man die jedesmalige Schließungsdauer auf 0,001 Secunde herunterbringen konnte, während die Unterbrechungszeit zwiſchen zwei Schließungen etwa 19mal ſo groß war. Da die Phaſen ſich noch deutlich zeigten, ſo iſt in dieſen Verſuchen die Gränze der Geſchwindigkeit, womit der elektrotoniſche Zuſtand zu Stande zu kommen vermag, noch nicht erreicht.

Auch wenn man die Stöße des Extraſtromes, z. B. die eines Neef'ſchen Magnetelektromotors auf die erregte Strecke einwirken läßt, zeigen ſich noch die elektrotoniſchen Phaſen im richtigen Sinne; doch treten hier ſchon Störungen auf, indem die poſitive Phaſe bedeutend ſchwächer auftritt als die negative. Manchmal erfolgt in der poſitiven Phaſe gar keine ſichtbare Wirkung oder es tritt ſogar ein negativer Ausſchlag auf, der aber demjenigen an Größe weit nachſteht, welche der negativen Phaſe entſpricht. — Dies alles zeigt, daß hier der elektrotoniſche Zuſtand nicht mehr rein auftritt. Die Abweichung von der reinen Erſcheinung des elektrotoniſchen Zuſtandes deutet auf eine negative Stromesſchwankung hin, welche hier modificirend einwirkt.

Um dieſe negative Stromesſchwankung nachzuweiſen, muß man die Erſcheinungen des elektrotoniſchen Zuſtandes zum Verſchwinden bringen, was ganz einfach dadurch geſchieht, daß man ſtatt einer Reihe gleichgerichteter Stöße anzuwenden, den Nerv durch abwechſelnd gerichtete Ströme tetaniſirt.

Die geeignetſte Vorrichtung, um abwechſelnd gerichtete Ströme in raſcher Aufeinanderfolge durch ein Nervenſtück hindurchzuſenden, iſt nun der Inductionsapparat, da ja die Schließung des Hauptſtromes von einem entgegengeſetzt gerichteten, die Oeffnung deſſelben von einem gleichgerichteten Strome im Nebendrahte, in deſſen Schließungsbogen das Nervenſtück eingeſchaltet iſt, begleitet wird.

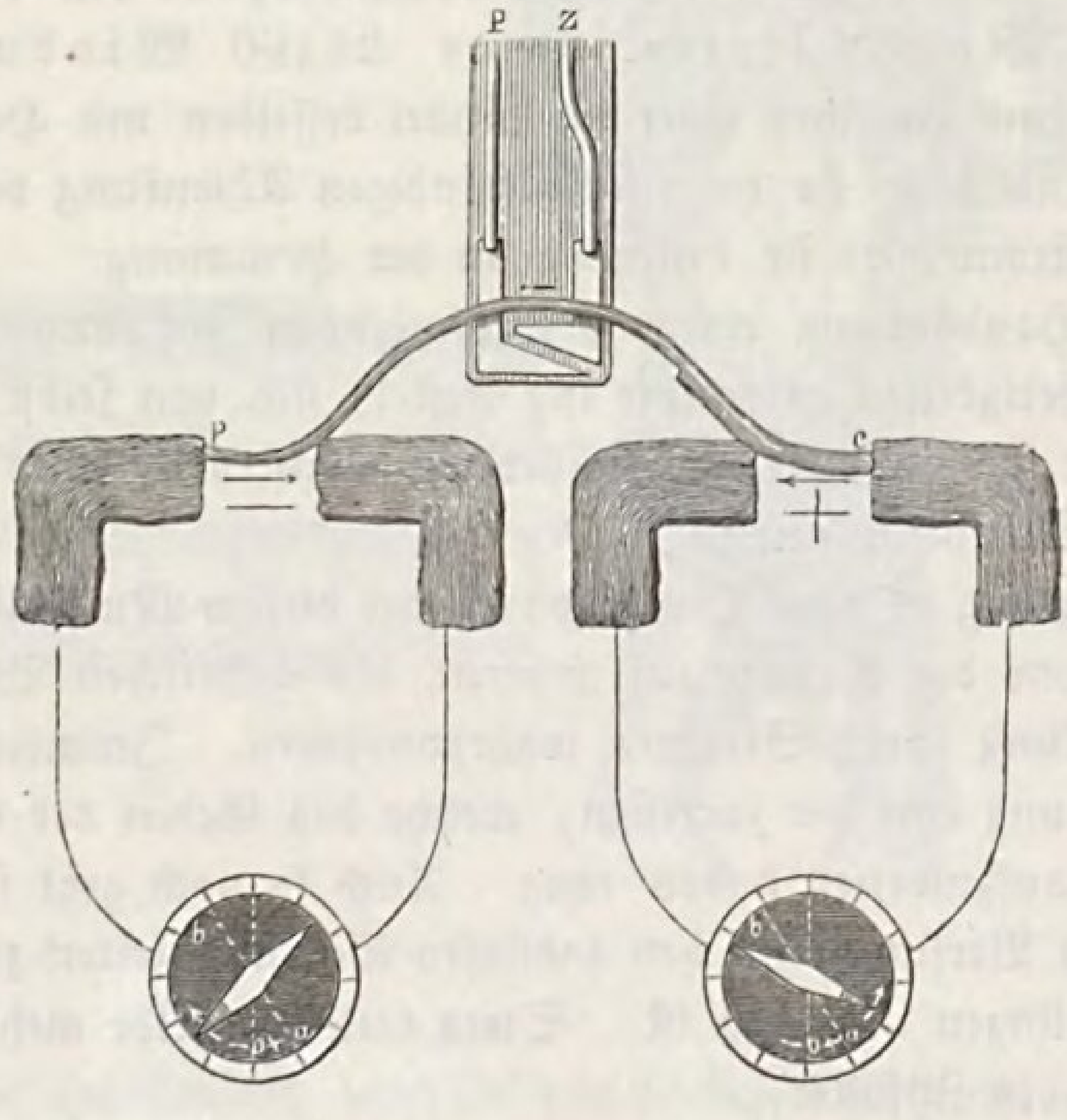
Der Erfolg des Tetaniſirens mit abwechſelnden Strömen, wenn Längs- und Querſchnitt auf den Bäuſchen aufliegen, iſt nun wirklich eine rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkt hin, unter günſtigen Umſtänden bis in den negativen Quadranten hinein.

Sind beide Enden des Nerven abgeleitet, wie Fig. 321 zeigt, ſo machen beide Multiplicatornadeln eine rückgängige Bewegung, wenn die erregte Nervenſtrecke durch abwechſelnd gerichtete Ströme tetaniſirt wird, während, wie wir oben ſahen, bei Anwendung beſtändiger Ströme die eine Hälfte des Nerven in die poſitive, die andere in die negative Phaſe des elektrotoniſchen Zuſtandes tritt, alſo die Ablenkung der Nadel im einen Multiplicator zu- im andern abnimmt.

Liegt die abgeleitete Strecke des Nerven auf beiden Bäuſchen mit dem Längsſchnitt auf, ſo zeigt ſich bekanntlich der urſprüngliche Nervenſtrom ungleich ſchwächer als beim Gegenſatz zwiſchen Längs- und Querſchnitt; aber auch die negative Stromesſchwankung, welche beim Tetaniſiren des Nerven mit abwechſelnd gerichteten Strömen ſtattfindet, erſcheint in gleichem Maaße geſchwächt wie der Nervenſtrom ſelbſt, während der elektroto-

niſche Zuſtand ſich unabhängig von der urſprünglichen Stärke des Nervenſtromes an allen Stellen des Längsſchnittes eben ſo ſtark zeigte, als wenn einerſeits Längsſchnitt, andererſeits Querſchnitt auflag.

Fig. 321.



Das Ergebniß des Tetaniſirens der Nerven mit abwechſelnden Strömen ſtimmt alſo genau überein mit dem elektromotoriſchen Ergebniß der Muskelzuſammenziehung.

So iſt denn der Beweis geliefert, daß das Tetaniſiren der Nerven auf elektriſchem Wege von einer Schwankung des urſprünglichen Nervenſtromes in negativem Sinne begleitet iſt, welche, vom elektrotoniſchen Zuſtande unabhängig, nichts Anderm zugeſchrieben werden kann, als einer Verminderung der nach Außen gerichteten elektromotoriſchen Kräfte des Nerven. *Dieſe negative Stromesſchwankung iſt nun wohl nichts Anderes, als der elektriſche Ausdruck des Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorganges.*

Um nun darüber volle Gewißheit zu erhalten, iſt nur noch zu unterſuchen, ob dieſe negative Stromesſchwankung nicht vielleicht allein an das Tetaniſiren auf elektriſchem Wege geknüpft ſey und bei anderen Arten des Tetaniſirens fehle?

Negative Stromesſchwankung beim Tetaniſiren auf nicht 300
elektriſchem Wege. Die erſten Bemühungen, welche Du Bois machte, eine negative Stromesſchwankung durch Tetaniſiren auf nicht

elektriſchem Wege nachzuweiſen, waren ſo gut wie vergeblich. Es zeigte ſich, daß ſein Multiplicator zu dieſen Verſuchen bei weitem nicht empfindlich genug war. — Es blieb nichts übrig, als zur Conſtruction eines neuen Inſtrumentes zu ſchreiten, die denn auch alsbald unternommen wurde. Der neue für die Unterſuchungen am Nervenſtrom beſtimmte Multiplicator hatte 24160 Windungen. Der Iſchiadicus eines Froſches warf die Nadel deſſelben mit Heftigkeit an die Hemmung und hielt ſie in einer beſtändigen Ablenkung von 40 — 50°. Der Muskelſtrom hielt ſie beſtändig an der Hemmung.

Daß die Handhabung eines ſo empfindlichen Inſtrumentes mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft iſt, verſteht ſich von ſelbſt. Du Bois giebt darüber ſowohl, wie auch über die Conſtruction des Inſtrumentes ausführliche Mittheilungen.

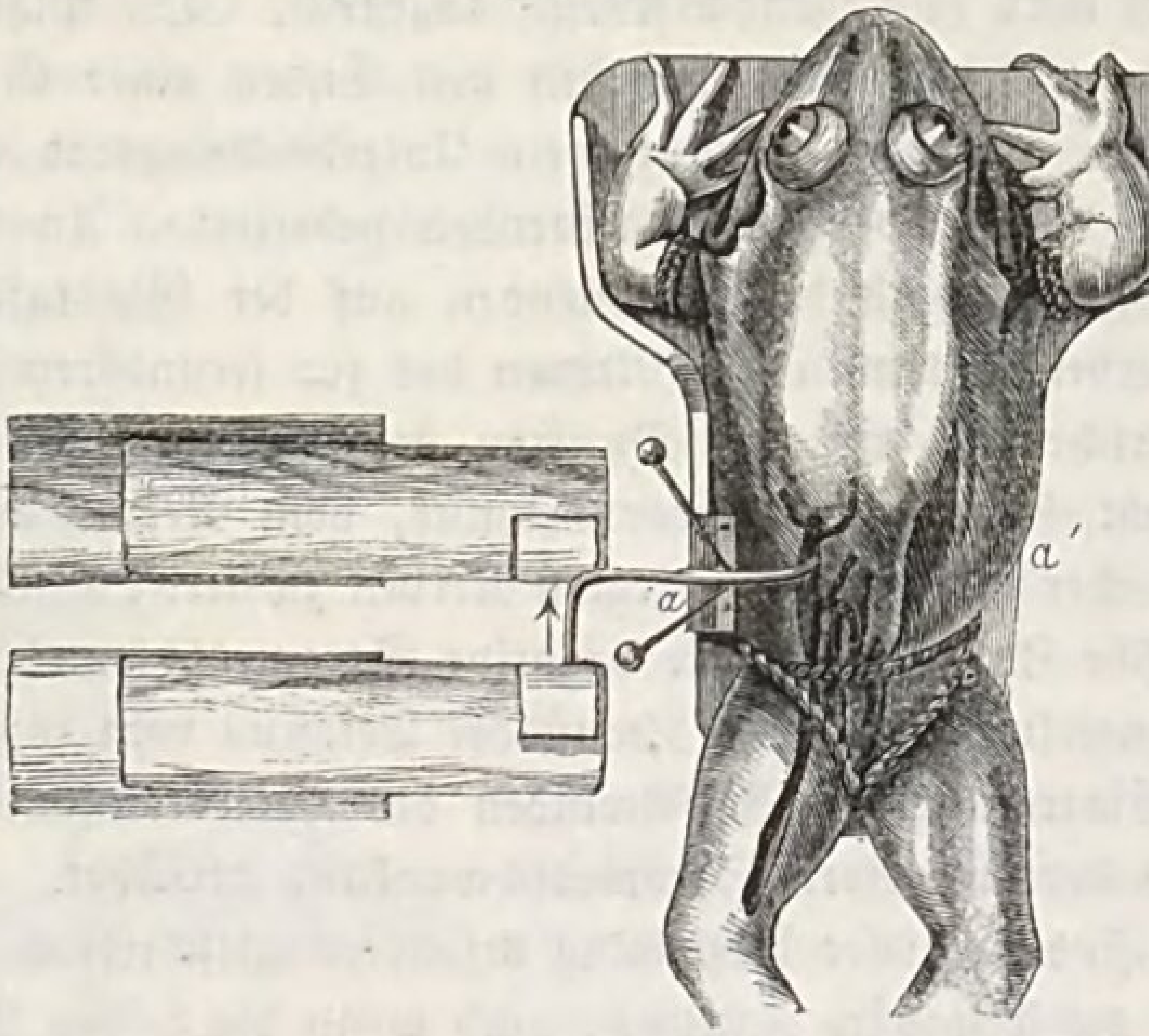
Wirklich gelang es nun Du Bois, mit dieſem Multiplicator während des Tetaniſirens der Nerven auf anderm, als elektriſchen Wege eine negative Schwankung ihres Stromes wahrzunehmen. Immerhin aber bleibt dieſe Erſcheinung eine der zarteſten, welche das Gebiet der experimentellen Wiſſenſchaft aufzuweiſen haben mag. Auch ſo noch geht ſtets eine große Mehrheit von Verſuchen an den zahlloſen Schwierigkeiten zu Grunde, von denen ihr Gelingen umgeben iſt. Stets bleibt daſſelbe mehr oder weniger in der Hand des Zufalls.

Um die Nerven vom Rückenmark aus durch Strychninvergiftung zu tetaniſiren und die entſprechende negative Stromesſchwankung nachzuweiſen, wird folgendermaßen verfahren: Der Froſch wird auf einem dazu beſtimmten Rahmen befeſtigt, vergiftet, die Arteria iliaca communis sinistra unterbunden, der Nerv von der Kniekehle bis an die Wirbelſäule frei zugerichtet, um mit ſeinem freien unteren Ende mit Längs- und Querſchnitt über die Bäuſche gebreitet zu werden, wie Fig. 322 andeutet. Du Bois bezeichnet dieſen Verſuch als einen ungemein ſchwierigen. Nur von Zeit zu Zeit glückt er nach Wunſch und bietet dann folgende Erſcheinung dar: Im Augenblick der tetaniſchen Strychnininnervation weicht die Magnetnadel um 1—3°, auch wohl um 4° zurück und nimmt ſofort, jedoch nicht ganz, die vorige Höhe wieder ein. Sie thut dies nicht allein beim erſten Hauptanfall, der ſich nach einer gewiſſen Zeit von ſelber einzuſtellen pflegt, ſondern auch bei den einzelnen Stößen von ungleich kürzerer Dauer, welche man bereits vor dem Hauptanfalle im Stadium der Reflexbewegung durch Berührung hervorrufen kann.

Wird ein ausgeſchnittener Nerv mit dem einen Ende in der bekannten Weiſe über die Bäuſche ausgebreitet, ſo tritt unter günſtigen Umſtänden eine negative Schwankung von 1 — 3° ein, wenn das andere Nervenende gequetſcht oder gebrannt wird.

Das Tetaniſiren des Iſchiadicus von ſeinen Hautverzweigungen aus wurde auf folgende Weiſe bewirkt: Ein ſtromprüfender Froſchſchenkel, dem

Fig. 322.



jedoch die Haut gelaſſen iſt, wird in den ſchrägen Schenkel eines communicirenden Rohres geſteckt und ſein Kniegelenk durch ein paſſendes Korkſtückchen an der obern Mündung feſtgehalten. Der Nerv liegt auf den Bäuſchen auf. — Gießt man nun in den andern, vertikal ſtehenden Schenkel durch eine trichterförmige Oeffnung deſſelben eine ſiedende Kochſalzlöſung ein, ſo ſteigt ſie in dem ſchrägen Schenkel langſam empor und verbrüht Schritt für Schritt und durch und durch den darin befindlichen Unterſchenkel. Während nun ein Froſch, den man ſich am oberen Ende des Iſchiadicus denkt, ſich in gräßlicher Qual winden würde, ſieht man hier die Nadel die bekannte negative Schwankung vollziehen.

Du Bois hat alle Einwendungen, die man etwa gegen dieſe Verſuche machen könnte, gründlich beſeitigt; doch können wir hier unmöglich weiter in Details eingehen.

Secundäre Zuckung von den Nerven aus. Um zu unterſuchen, 301
ob die negative Stromesſchwankung beim Tetaniſiren der Nerven ſtetiger oder unterbrochener Art ſey, müſſen wir das phyſiologiſche Rheoſkop, den ſtromprüfenden Froſchſchenkel, an die Stelle des Multiplicators ſetzen. Iſt die Schwankung ſtetiger Natur, ſo wird er unter allen Umſtänden in Ruhe bleiben, höchſtens zu Anfang oder zu Ende derſelben eine Zuckung zeigen dürfen. Iſt ſie unterbrochener Art, ſo wird dagegen der ſtromprü-

fende Schenkel in ſecundären Tetanus gerathen müſſen, wofern nur die einzelnen Stöße tief und ſchnell genug ſind, und der Schenkel hinreichende Erregbarkeit beſitzt, damit Zuckung ſtattfinden könne.

Der Verſuch wird in folgender Weiſe angeſtellt. Die Platinenden der ſtromzuführenden Vorrichtung ſind mit den Enden einer Grove'ſchen Kette verbunden. In den Kreis iſt ein Unterbrechungsrad eingeſchaltet. Ein Iſchiadicus wird über die Platinenden gebreitet. An Längs- und Querſchnitt des außerhalb der Platinenden auf der Glastafel ruhenden Theiles des Nerven legt man den Nerven des zur ſecundären Zuckung beſtimmten Unterſchenkels mit zwei Punkten des Längsſchnittes an. Wird das Rad gedreht, ſo tritt ſecundärer Tetanus, vom Nerven aus, ein.

Hier treten aber im primitiv erregten Nerven zweierlei Wirkungen auf: der elektrotoniſche Zuſtand und die negative Stromesſchwankung. Es iſt alſo noch zu unterſuchen, ob der ſecundäre Tetanus vom raſch aufeinanderfolgenden Eintreten und Verſchwinden des elektrotoniſchen Zuſtandes oder ob er von der negativen Stromesſchwankung herrührt. Die folgenden Ergebniſſe ſind in dieſer Beziehung beſonders entſcheidend.

Man erhält die ſecundäre Zuckung, auch wenn die beiden Nervenenden nur neben einander gelegt ſind; es iſt alſo nicht nöthig, daß der primitiv erregte Nerv den andern mit Längs- und Querſchnitt berührt.

Die Nähe der Elektroden übt einen entſcheidenden Einfluß auf die Stärke der Zuckungen aus. Iſt die Nervenſtrecke zwiſchen den Elektroden und der Berührungsſtelle der beiden Nerven ſehr groß, ſo tritt keine ſecundäre Zuckung mehr ein.

Da der elektrotoniſche Zuſtand mit der Entfernung von den Elektroden weit raſcher abnimmt, als die negative Stromesſchwankung, ſo kann nach dieſen Reſultaten kein Zweifel bleiben, daß der Eintritt und das Aufhören des elektrotoniſchen Zuſtandes die ſecundäre Zuckung erzeugen und daß dieſelbe nicht durch die negative Stromesſchwankung hervorgebracht werden kann.

Wird der Nerv auf irgend eine nicht elektriſche Weiſe tetaniſirt, ſo iſt er unfähig, eine ſecundäre Zuckung zu erzeugen. Die Reizung muß durchaus eine elektriſche ſeyn.

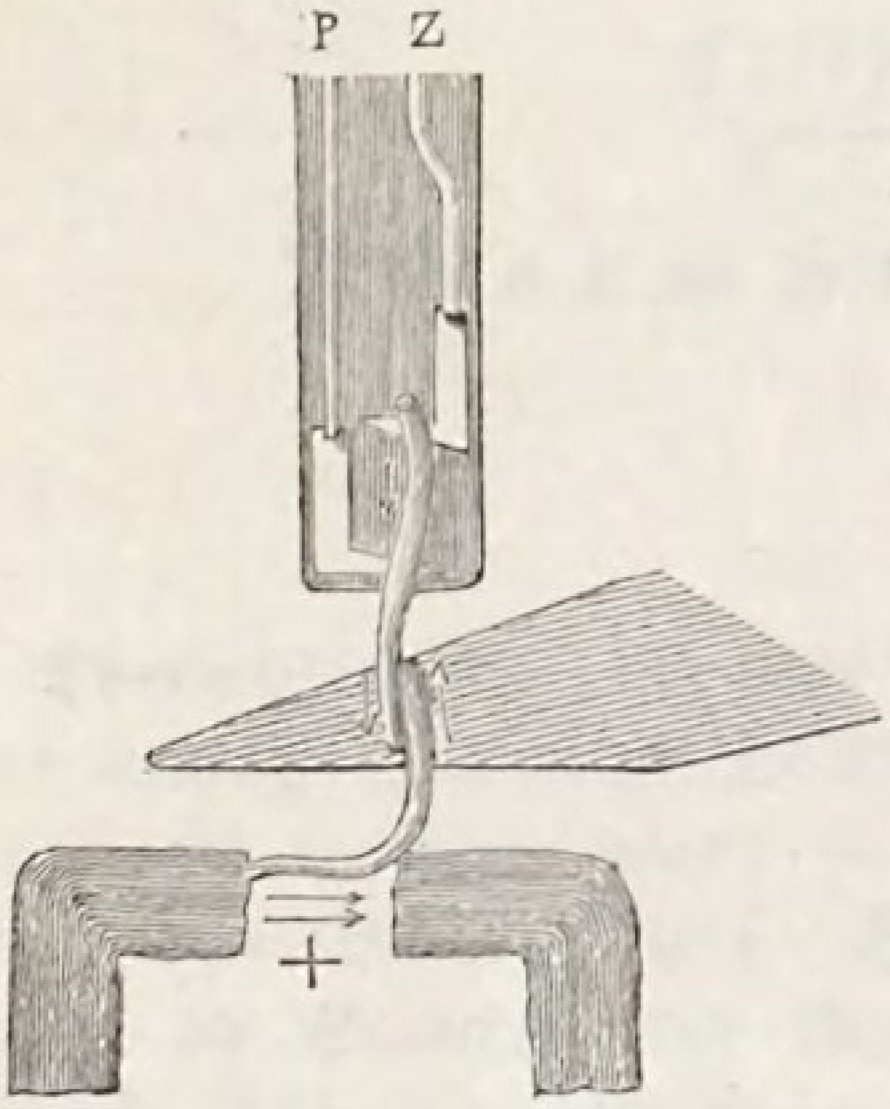
Die Frage nach der ſtetigen oder unterbrochenen Natur negativer Stromesſchwankung kann alſo wohl auf dieſem Wege nicht entſchieden werden.

Die ſecundäre Zuckung vom Nerven und diejenige vom Muskel aus ſind nach alledem hinſichtlich ihres Urſprungs wohl auseinander zu halten. Die letztere rührt her von der negativen Schwankung bei der Zuſammenziehung, ſie iſt daher unabhängig von der Art und Weiſe, wie die Zuſammenziehung hervorgebracht wurde. Die ſecundäre Zuckung vom Nerven aus rührt weſentlich her vom Eintritt oder vom Aufhören des elektroto-

niſchen Zuſtandes, und ihr Zuſtandekommen iſt deshalb gebunden an dieſe beſondere Art der Erregung des Nerven, nämlich die Reizung auf elektriſchem Wege.

Du Bois hat nun ferner nachgewieſen, daß ſich auch der elektrotoniſche Zuſtand von dem unmittelbar elektriſch erregten Nerven auf den mittelbar zu erregenden überträgt; er hat gezeigt, daß der letztere gleichzeitig mit dem erſteren im Augenblick der Schließungszuckung in elektrotoniſchen Zuſtand geräth und ebenſo gleichzeitig mit jenem im Augenblick der Oeffnungszuckung aus demſelben wieder austritt. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der Zuwachs in dieſem ſecundären elektrotoniſchen Zuſtande an dem Multiplicator für den Muskelſtrom auf eine bloße Spur zurückſinkt; an dem Multiplicator für den Nervenſtrom hingegen iſt die Wirkung noch ſehr ausgeſprochen: bei mittleren Verhältniſſen erfolgen 8—10° Ausſchlag. Fig. 323 erläutert die Anſtellung des Verſuchs.

Fig. 323.



In der zweiten Hälfte des zweiten Bandes, welche hoffentlich bald erſcheinen wird, will Du Bois zunächſt das Verhalten des Muskelſtromes am lebenden unverſehrten Körper der Thiere und des Menſchen beſprechen.

Eine hierher gehörige Erſcheinung hat jedoch Du Bois bereits, wenn auch nur in aller Kürze, in den comptes rendus (t. 30, Seite 349) veröffentlicht, nämlich die, daß durch willkürliche Contraction der Muskeln den Armen eines lebenden Menſchen ebenfalls die negative Schwankung des Muskelſtromes ſichtbar gemacht werden kann. Ueber die Art, wie der Verſuch anzuſtellen iſt, wird an der citirten Stelle nichts Näheres geſagt. Mir iſt der Verſuch in folgender Weiſe gelungen: An die beiden Enden des Multiplicatordrahtes wurden die kupfernen Handhaben einer Magnetelektriſirmaſchine eingeſchraubt. Sobald man ſie mit den befeuchteten Händen anfaßte, verließ die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsſtellung, um nach einigen Oſcillationen wieder, wenn auch nicht mehr genau im Nullpunkt, zur Ruhe zu kommen. Contrahirt man nun die Muskeln des einen Arms und der einen Hand, indem man die Handhabe kräftig drückt, ſo ſieht man ſogleich die Nadel ihre neue Gleichgewichtslage verlaſſen, um einen Ausſchlag von 10 bis 20 Grad nach der einen Seite zu machen. Zieht man jetzt, wenn die Nadel ihren Rückſchwung beginnt, die Muskeln des zuerſt contrahirten Armes in Ruhe laſſend, die Muskeln des

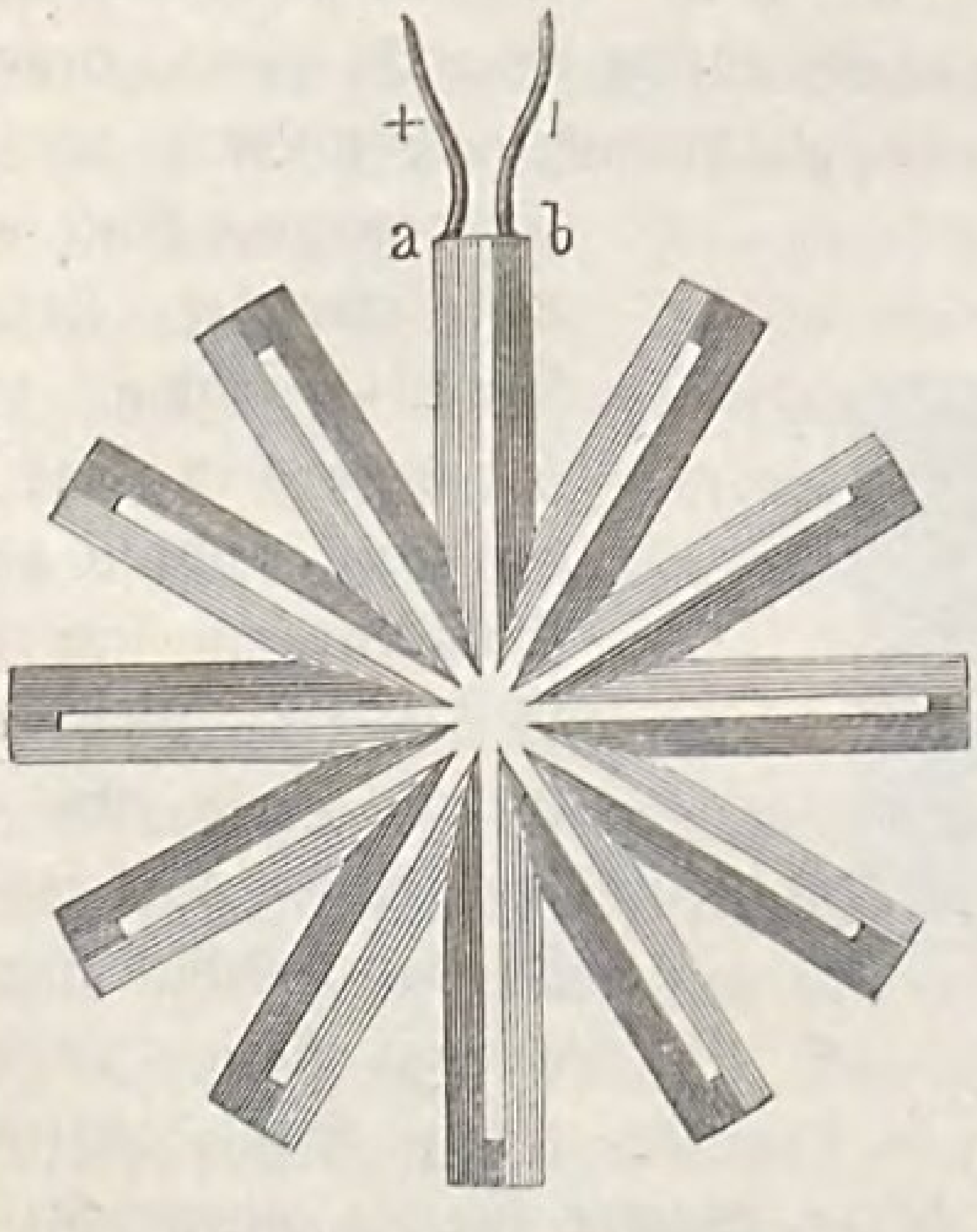
andern Arms zuſammen, ſo kann man dadurch die Nadel auf der andern Seite noch weiter aus der Gleichgewichtslage treiben. Wechſelt man auf dieſe Weiſe mit der Contraction der Arme in den gehörigen Momenten ab, ſo kann man bedeutende Oſcillationen hervorbringen. An meinem Multiplicator von 3700 Windungen habe ich es leicht bis zu einem Ausſchlag von 40—50 Grad auf jeder Seite der Gleichgewichtslage gebracht.

Elfter Abſchnitt.

Thermoelektricität.

Thermoſäulen. Nobili gab (Pogg. Ann. 36. Bd. p. 525) 302
zwei neue Conſtructionen der Thermoſäule an, wodurch dieſelbe empfindlicher und bequemer wird; er nennt die eine Strahlenſäule und die andere Schlitzſäule. Die Strahlenſäule hat folgende Einrichtung: die Stäbchen ſind ſämmtlich paarweiſe ſo zuſammen gelöthet, wie Fig. 324 zeigt, wo *a* und *b* die beiden letzten Elemente mit den angelötheten Leitern vorſtellen.

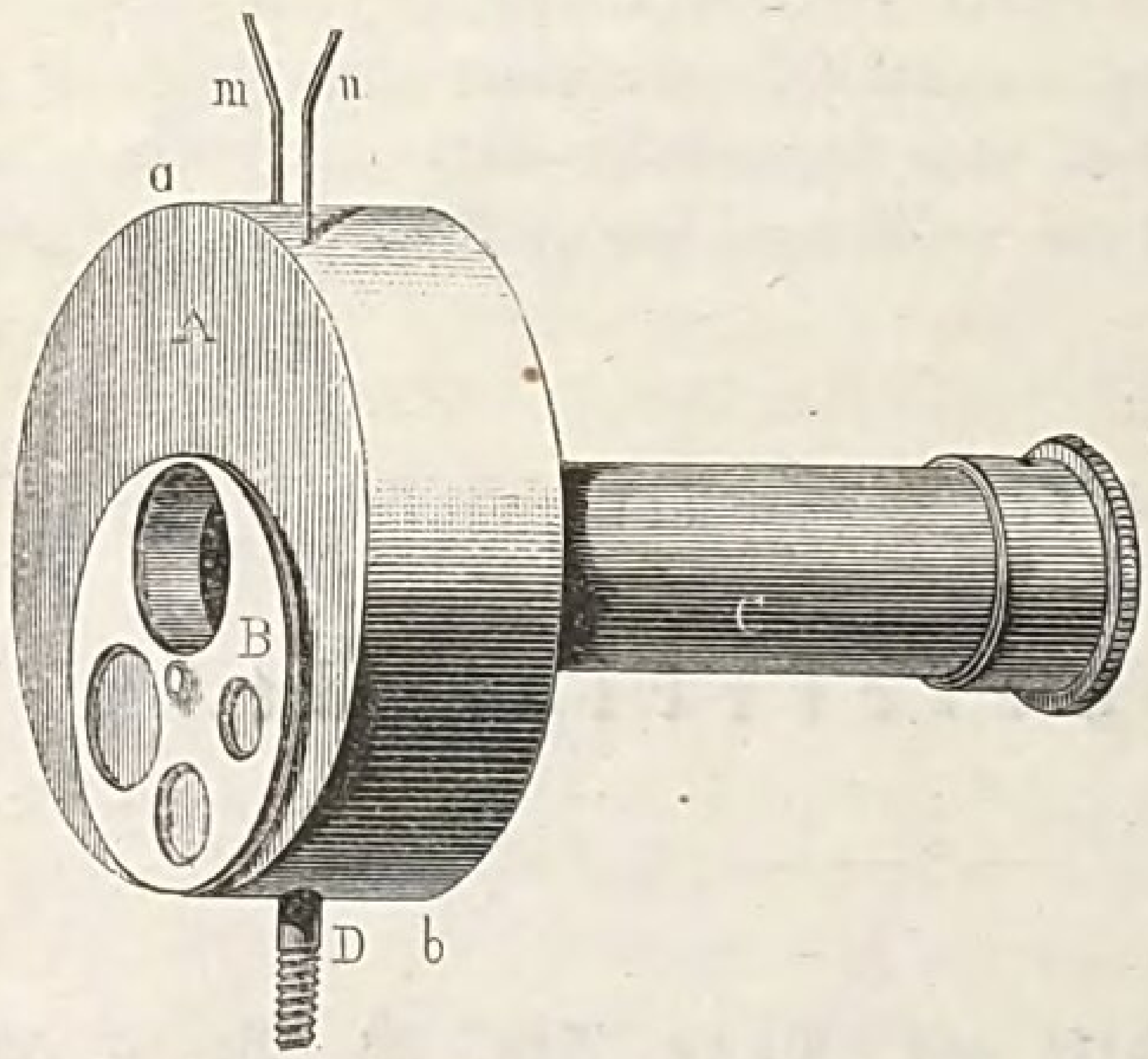
Fig. 324.



Nach dem Verlöthen werden ſie mittelſt Harz auf eine Holzſcheibe gekittet, welche in der Mitte eine Oeffnung hat. Dieſe Scheibe kommt in die meſſingene Kapſel *ab*, Fig. 325 (ſ. f. S.), welche in jedem Boden eine Oeffnung von etwa 15 Millimeter Durchmeſſer erhält. Die Oeffnung auf *A* kann mittelſt des Schiebers *B* verändert werden, indem die auf dem Schieber befindlichen Oeffnungen von 3 — 12 Millimeter ſteigen. Dieſe Oeffnung dient die Wärmeſtrahlen einzulaſſen. Vor der Oeffnung des andern Bodens iſt das Rohr *C* befeſtigt, das in ſeinem Deckel eine ganz kleine, noch durch ein Glimmerblatt verſchloſſene Oeffnung hat, um der Säule

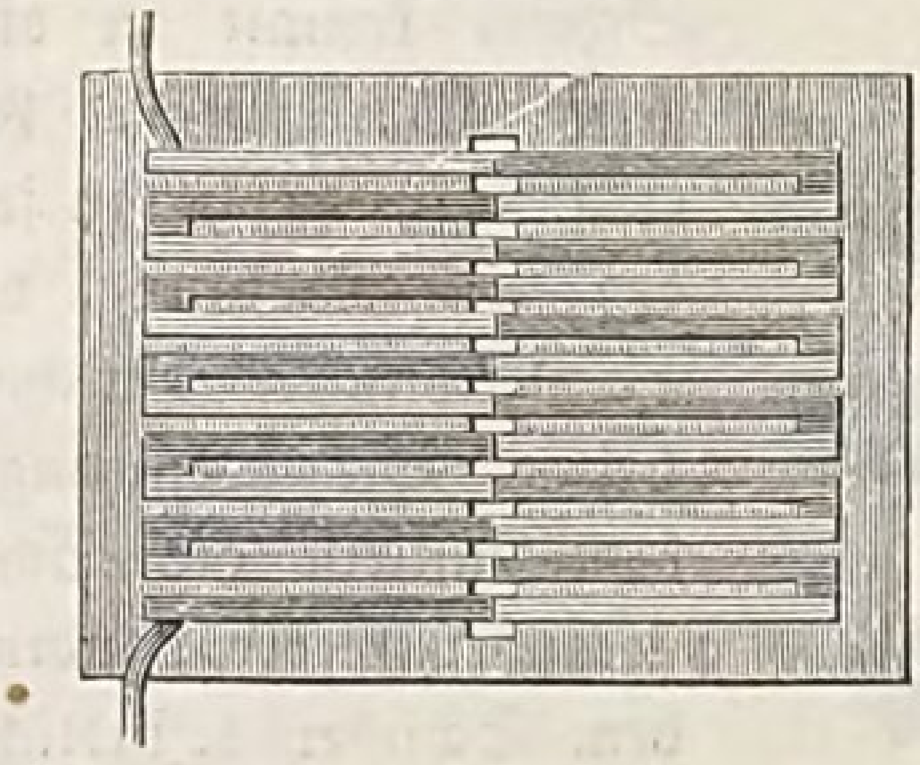
die genaue Stellung geben zu können, indem man durch die kleine Oeffnung und den Mittelpunkt der Säule ſelbſt nach der Wärmequelle ſieht; der Zapfen *D* dient zur Befeſtigung auf irgend ein Stativ; die Drähte *m n* gehen iſolirt durch die Meſſingkapſel und ſind an die Pole der Säule verlöthet. Nobili hat ſolche Säulen von 8 bis 20 Paaren angefertigt, zweifelt aber, ob der durch letztere Zahl erreichbare Vortheil für die ungemein ſchwierige Ausführung entſchädige. Die Vortheile dieſer Conſtruction liegen hauptſächlich darin, daß man auch bei ſehr kleinen Bündeln von Wärmeſtrahlen dennoch alle Elemente der Säule in Wirkſamkeit hat, und daß man in Fällen, wo die Einwirkung zu ſtark wäre, leicht durch den Schieber *B* abhelfen kann.

Fig. 325.



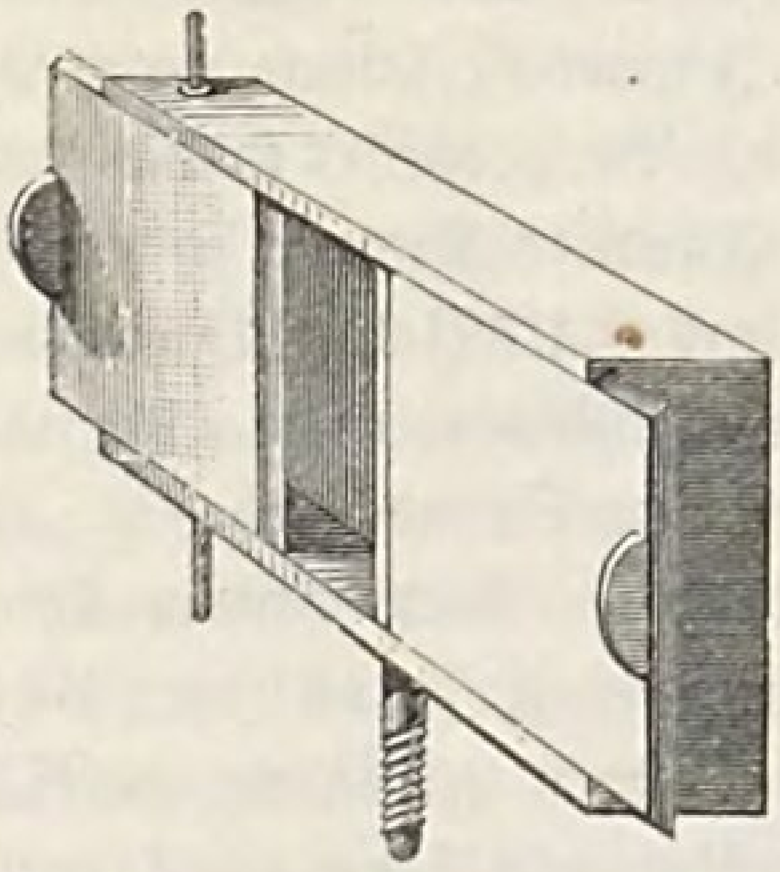
Die Schlitzſäule iſt vorzüglich beſtimmt, um ſchmale geradlinigte Wärmequellen anwenden zu können, wie z. B. bei Interferenzverſuchen. Zu dem Ende ſind die Elemente ebenfalls alle in einer Ebene angebracht, ſo aber wie Fig. 326 zeigt, wobei die gleichnamigen Löthſtellen alle in einer geraden Linie unter einander liegen. Nobili nahm dieſelben ſo fein, daß 8 derſelben ſammt dem Zwiſchenraum nur 15 Millimeter Platz erfordern, wie etwa in der Figur. Bei dieſer Zartheit bleibt nichts anderes übrig, als die fertige Säule mittelſt Harz ebenfalls auf ein Brettchen zu kitten, welches für die mittlere Reihe der Löthſtellen einen Schlitz hat. Mit dieſem Brettchen kommt die Säule in ein Käſtchen, wie Fig. 327, das vorn nur durch zwei Schieber geſchloſſen iſt, zwiſchen denen man für den Eintritt der Wärmeſtrahlen eine be-

Fig. 326.



liebige Spalte offen laſſen kann; auf der entgegengeſetzten Seite hat das Käſtchen ebenfalls einen Schlitz, der durch ein Glimmerblatt verſchloſſen iſt, und durch welchen hindurch man die Säule nach der Wärmequelle richten kann.

Fig. 327.



Munke hat in Pogg. Ann. 47. Bd. eine detaillirte Anleitung gegeben, wie man beim Verlöthen der Säulen zu verfahren habe. Dieſe Anleitung bezieht ſich jedoch vorzugsweiſe auf größere Säulen, und ich glaube daher, es dürfte hier an der einfachen Erwähnung genügen, da Jeder die Sache ſelbſt am angeführten Orte nachſehen kann, wenn er in den Fall kommt, die genannten Arbeiten vorzunehmen. Munke hat Stäbe angewendet von 27 Linien Länge, 5 Linien Breite und 4 Linien Dicke; ſolcher Stäbe verwendete er 81 zu einer Säule aus 9 Reihen, die Zwiſchenräume wurden mit Gyps gefüllt und dieſer mit Schellackfirniß getränkt, um die eine Seite mit ſchmelzendem Schnee in Berührung bringen zu können. Auf die andere Seite wurde in geringem Abſtand eine Kupferplatte mit aufgebogenem Rande gelegt, und auf dieſe glühende Kohlen. Verſuche, welche damit gemacht wurden, werden weiter unten erwähnt.

Ketten für große Temperaturdifferenzen werden aus Eiſen und Platin gefertigt; für ſolche Fälle, wo man es mit nicht ganz hohen Temperaturen zu thun hat, ſchlug Poggendorff (Ann. 50. Bd.) eine Kette aus Eiſen und Neuſilber vor, welche viel wohlfeiler und empfindlicher iſt, da Neuſilber in der thermoelektriſchen Reihe poſitiver iſt als Platin. Poggendorff hat ſich durch directe Verſuche von der größern Wirkung einer ſolchen Kette bei gleicher Temperaturdifferenz überzeugt.

Wirkungen der Thermoelektricität. In der hier zu betrachtenden 303
Epoche wurden insbeſondere noch Verſuche angeſtellt, um nachzuweiſen, daß man durch Thermoſtröme der Art nach alle Wirkungen erhalten könne, welche hydroelektriſche Ströme hervorbringen. In dieſer Beziehung zeigte Watkins (Pogg. Ann. 42. Bd. und Phil. Mag. XI, p. 304), daß der Thermoſtrom auch Magnetismus errege, und zwar brachte Watkins mit einer Kette aus 30 Paaren Wismuth und Antimon in Platten von $1\frac{1}{2}$ Quadratzoll und $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke einen Elektromagnet zu Stande, der 90 Pfund trug. Die Erregung geſchah einerſeits durch die Strahlung von glühendem Eiſen, andererſeits durch Eis. Auch Munke hatte mit ſeiner

oben erwähnten großen Thermoſäule kräftige magnetiſche Wirkung erhalten.

Funken hat Munke beim Schließen der Kette nicht erhalten, wohl aber beim Oeffnen, wenn dieſelbe mit einer Inductionsſpirale verbunden war, und Watkins will (Pogg. Ann. 42. Bd. p. 589) ſolche in dieſem Falle ſelbſt durch eine einfache Wismuth-Antimon-Kette erhalten haben, obwohl jeder Stab nur 0,5 Zoll lang und 0,12 Zoll dick war und nur 5 Gran wog. Indeſſen ſind die näheren Umſtände nicht angeführt.

Auch Waſſerzerſetzung hat Botto in Turin zu Stande gebracht, die näheren Umſtände ſind mir jedoch nicht bekannt. Auch Andere haben ähnliche Verſuche mit Erfolg angeſtellt, namentlich Alexander (Poggendorff's Ann. 42. Bd.); er benutzte hierzu einen gewöhnlichen Waſſerzerſetzungsapparat und durch ſehr wenig Schwefelſäure angeſäuertes Waſſer. Seine Batterie beſteht aus einer horizontalliegenden vierſeitigen Säule von 25 Elementen aus Wismuth und Antimon, jede Platte zu 1½ □″ Fläche und 1‴ Dicke. Die Elemente ſind mit Zinn gelöthet. Munke konnte mit ſeiner Säule keine Waſſerzerſetzung erhalten, wohl aber mit Hülfe einer großen Spirale beim Oeffnen der Kette ſchwache Erſchütterungen.

304 **Wärmeentwickelung** erhielt Watkins durch den Thermoſtrom in einem nach der Angabe von Harris gefertigten Luftthermometer, ſo wie in einem Breguet'ſchen Metallthermometer. In beiden Fällen war die directe Wärmeleitung der Kupferdrähte dadurch aufgehoben, daß dieſelben mit Eis umgeben waren.

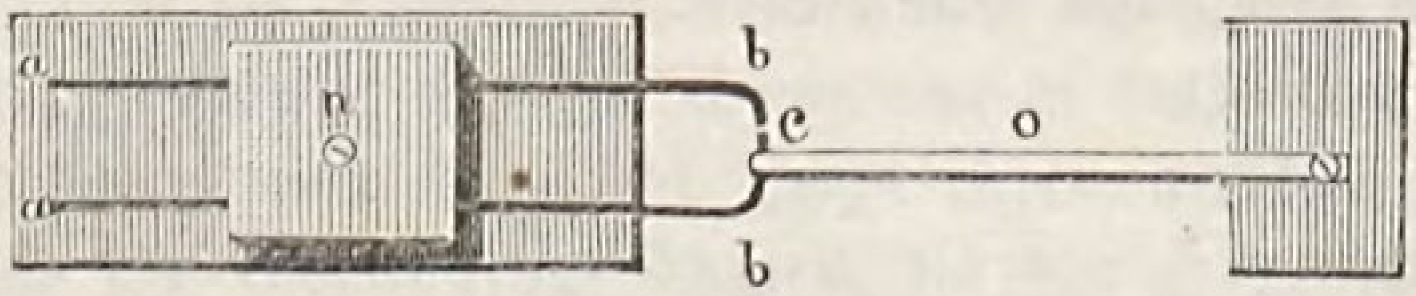
305 **Thermoelektriſche Erſcheinungen bei Berührung gleichartiger, aber ungleich warmer Körper** wurden von Vielen beobachtet, wie von Becquerel (Pogg. Ann. 44. Bd.), von Matteucci (Pogg. Ann. 47. Bd.), Vorſſelman de Heer (ebend. im 49. Bd.), von Henrici (Pogg. Ann. 80. Bd.). Daß bei Berührung von zwei gleichartigen Leitern, deren einer erwärmt iſt, und die mit dem Multiplicator verbunden ſind, ein elektriſcher Strom entſtehe, fand man ſo ziemlich allgemein beſtätigt; allein über die Richtung dieſes Stromes wurden abweichende Reſultate erhalten. Einen Theil dieſer Abweichungen erklärte de Heer durch Berückſichtigung der thermoelektriſchen Eigenſchaften des Queckſilbers, denn Matteucci hatte die ungleich warmen Metalle durch Queckſilber in Berührung gebracht. In dieſen Fällen handelte es ſich alſo, wie de Heer richtig erläutert, nicht mehr um Berührung gleichartiger Metalle, und er zeigt aus den erhaltenen Reſultaten, daß die thermoelektriſche Reihe folgende ſeyn müſſe: Wismuth, Queckſilber, Platin,

Kupfer, Zink, Silber, Eiſen, Antimon. Eine beſondere Discuſſion veranlaßte zwiſchen den obengenannten Beobachtern die Frage, ob auch dann ein elektriſcher Strom entſtehe, wenn heißes und kaltes Queckſilber in Berührung komme; ſie wurde von Becquerel und de Heer bejaht, von Matteucci und Henrici verneint. Die Verſuche wurden im Allgemeinen ſo angeſtellt, daß zwei Portionen Queckſilber durch gleichartige Drähte mit dem Multiplicator verbunden wurden, hierauf wurde die eine Portion an einer Stelle erwärmt und dann beide Portionen in Berührung gebracht. Es handelte ſich hierbei darum, das Queckſilber entweder in Glasröhren oder hölzernen Rinnen in ſo lange Fäden zu bringen, daß nicht etwa ſchon vor der Schließung die der einen Portion mitgetheilte Wärme ſich bis zu dem darin befindlichen Drahte fortpflanzt, und ſo erklären auch diejenigen die poſitiven Reſultate der andern Beobachter, welche ſelbſt nur negative erhielten. Entſchieden ſcheint dieſe Frage noch nicht zu ſeyn.

Eine Hauptfrage bei den hierher gehörigen Verſuchen war natürlich die, ob der Strom bei Berührung gleichartiger Metalle an der Berührungsſtelle vom heißen zum kalten Drahte oder umgekehrt laufe. De Heer giebt nach ſeinen Verſuchen an, der Strom gehe bei Kupfer und Platin vom heißen zum kalten Metall, bei Zink, Eiſen und Silber aber vom kalten zum heißen, während bei Wismuth und Antimon die Richtung zweifelhaft blieb, indem ſie von der Temperaturdifferenz abhängig war, ſo daß z. B. bei Antimon der Strom vom Kalten zum Warmen ging, wenn die Temperaturdifferenz groß war, und bei geringerer Differenz eine umgekehrte Richtung annahm.

Henrici fand, daß überhaupt die angewendete Temperatur bei dieſen Erſcheinungen von großem Einfluß ſey, indem hohe Temperaturen nicht nur die Beſchaffenheit der Oberflächen, ſondern auch die innere Structur der Drähte ändern, und dadurch die Erſcheinungen weſentlich modificiren. Er wendete daher in der Regel immer nur ſehr mäßige Temperaturdifferenzen an. Der Apparat, welchen Henrici anwendete, war folgender: Auf einem mit Leinöl gefirnißten Holze konnten die anzuwendenden Drähte, deren Enden *a a*, Fig. 328, mit dem Multiplicator verbunden

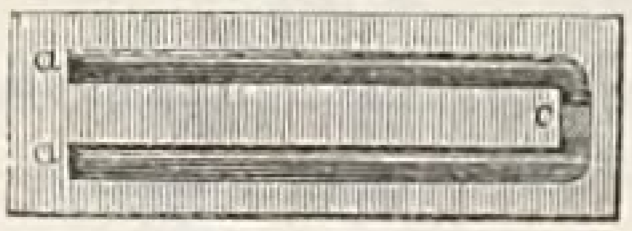
Fig. 328.



waren, mittelſt des Brettchens *n* ſo befeſtigt werden, daß ihre rechtwinklig gebogenen Enden *b*, die auf mattem Glaſe eben geſchliffen waren, bei *c*

durch leichte Federung in Berührung kamen. Auf den einen Draht wurde nun das Ende eines an einem Klötzchen befeſtigten Meſſingſtreifens gelegt und dieſer dann irgendwo, etwa bei *o*, durch eine darunter geſetzte kleine Oellampe, deren Flamme das Metall nicht berührte, erwärmt. Bei Verſuchen mit Queckſilber befand ſich daſſelbe in einer in Holz geſchnittenen Rinne, deren halbe Länge *ac*, Fig. 329, 28 Centimeter betrug, und war bei *aa* mit dem Multiplicator verbunden und bei *c* durch eine eingeſchobene Scheidewand aus Kork getrennt. Die Erwärmung des Endes der einen Rinne geſchah hier durch einen Eiſenſtreifen. Die Scheidewand wurde weggenommen, wenn das Queckſilber auf der einen Seite derſelben erwärmt war.

Fig. 329.



Mit dieſem Apparate erhielt Henrici die in folgender Tabelle enthaltenen Reſultate, wobei die Stromsrichtung vom Warmen zum Kalten (an der Berührungsſtelle) als poſitiv bezeichnet iſt.

Metalle.	Strom.	Abweichung am Galvanometer.
1. Kupfer in Drähten	+	3^{0}, 4^{0}
2. Meſſing in Drähten	+	5^{0}, 4^{0}
3. Silber in Drähten aus gewöhnlichen Thalern	+	3^{0}, 1^{0}
4. Dieſelben Drähte geglüht	+	4^{0}, $3\frac{1}{2}^{0}$
5. Silber in Drähten (von den feinſten hannöverſchen Thalern, ſehr rein)	—	2^{0}, 3^{0}
6. Dieſelben Drähte, beide geglüht	—	1^{0}, 1^{0}
7. Zinn in Drähten	+	$3\frac{1}{2}^{0}$, 2^{0}
8. Kadmium desgl.	+	2^{0}, $1\frac{1}{2}^{0}$
9. Platin desgl.	+	5^{0}, 4^{0}
10. Daſſelbe geglüht.	+	7^{0}, 6^{0}
11. Gold in Drähten	+	5^{0}, $5\frac{1}{2}^{0}$
12. Neuſilber desgl.	+	6^{0}, 7^{0}
13. Nickel in Streifen	+	13^{0}, 14^{0}
14. Zink in Streifen	—	11^{0}, 12^{0}
15. Zink in Drähten	—	14^{0}, 16^{0}
16. Eiſen desgl.	—	15^{0}, 16^{0}
17. Antimon in dünnen Stangen	—	20^{0}, 20^{0}
18. Wismuth desgl.	—	40^{0}, 50^{0}
19. Blei in Drähten		0^{0}
20. Queckſilber		0^{0}

Die Drähte waren nicht über 2 Millimeter dick, und die beiden in der Tabelle enthaltenen Ablenkungen wurden erhalten, jenachdem der eine oder der andere Draht erwärmt wurde.

Welch großen Einfluß Aenderungen in der Härte ꝛc. auf den Erfolg haben, zeigen folgende mit den Meſſingdrähten Nr. 2 von Henrici angeſtellte Verſuche. Zuerſt gaben ſie bei abwechſelnder Erwärmung poſitive Ströme von 4⁰ und 5⁰, nachdem ſie aber in einer Weingeiſtflamme ſtark ausgeglüht und mit Bimsſtein gereinigt waren, negative Ströme von $1\frac{1}{2}$—3⁰. Geglüht während fortgeſetzter Berührung gaben dieſelben Drähte nach dem Erkalten und ohne vorherige Reinigung bei abwechſelndem Erwärmen Ströme von 20⁰—30⁰. Als die Enden nachher flach gehämmert und wieder gereinigt waren, gab die Erwärmung des einen Endes einen poſitiven Strom von 3⁰, die Erwärmung des andern einen negativen von $5\frac{1}{2}$⁰. Nach wiederholtem Glühen und Reinigen gaben die Drähte zuerſt poſitive Ströme von $\frac{1}{4}$⁰ und $\frac{1}{2}$⁰ und bei zunehmender Erwärmung negative von 4⁰ und 5⁰. Das auffallendſte Beiſpiel von ſolchen Umkehrungen der Stromesrichtung erhielt Henrici an zwei Kadmiumdrähten, ſie gaben anfangs poſitive Ströme von $1\frac{1}{2}$⁰ und 2⁰, bei größerer Wärme negative von 4⁰ und 4⁰, dann wieder poſitive von 3⁰ und doch zeigten ſich beim Abnehmen der Drähte beide Berührungsſtellen völlig glänzend und anſcheinend frei von Oxyd.

Henrici hat auch den Erfolg unterſucht, wenn der ununterbrochene Schließungsdraht des Galvanometers an irgend einer Stelle erwärmt wurde. Er verwendete hiezu Drähte von Kupfer, Meſſing, Platin, Zink, Neuſilber, Eiſen und Kadmium und fand beinahe an allen ſolche Stellen, deren Erwärmung durch den Meſſingſtreifen bald einen poſitiven, bald einen negativen Strom hervorrief. Da Henrici geneigt iſt, den Erfolg bei getrennten Drähten, deren einer erwärmt wird, einer dadurch bewirkten weitern Ungleichheit entweder der Structur im Innern oder der Beſchaffenheit der Oberfläche anzunehmen, ſo ſchließt er aus den eben angeführten Verſuchen, daß an den wirkſamen Stellen dieſer ganzen Drähte ebenfalls innere Structurverſchiedenheiten vorhanden ſeyen. Henrici vermuthet ferner, daß die Veränderungen in der Beſchaffenheit der Oberfläche und der Structur, welche durch die Erwärmung bewirkt werden, eine Ungleichheit in dem Strahlungsvermögen im Gefolge haben möchten, und daß hierin der eigentliche Grund der ganzen Reihe der Erſcheinungen liege, obwohl er zugeſteht, daß bei dem jetzigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe über die Bewegung der Wärme im Innern der Körper noch nicht wohl daran gedacht werden könne, zu erklären, wie eine Aenderung in der Richtung dieſer Bewegung Elektricitätsentwickelung zur Folge haben könne. Merkwürdig bleibt jedenfalls für eine künftige Theorie die von Henrici feſtgeſtellte Erfahrung, daß das Ausglühen die Metalle in der thermoelektriſchen Reihe dem Wismuth näher bringt.

306 **Pyroelektricität der Kryſtalle.** Schon Hauy erkannte, daß das Auftreten der Elektricität beim Erwärmen gewiſſer Kryſtalle mit der Hemiëdrie derſelben im Zuſammenhang ſtehe, ohne jedoch die Art dieſes Zuſammenhanges näher zu verfolgen. Brewſter (Pogg. Ann. 2. Bd. p. 301) entdeckte ſpäter viele Körper, welche beim Erwärmen polar-elektriſch werden, ohne daß an den Kryſtallen derſelben bis jetzt eine Hemiëdrie beobachtet worden wäre; daher man noch nicht berechtigt iſt, anzunehmen, daß galvaniſche Elektricität und polariſche Hemiëdrie ſtets eine Folge von einander ſind.

Die Erſcheinung der polaren Elektricität während des Erwärmens oder des Erkaltens findet ſich aber doch am ſtärkſten an hemiëdriſchen Kryſtallen ausgeprägt und hier findet auch ein beſtimmter Zuſammenhang zwiſchen der elektriſchen Polarität und der Kryſtallform ſtatt. Köhler (Pogg. Ann. 13. Bd. p. 629) hat dies für Borazit und Kieſelzinkerz nachgewieſen, bei dem Turmalin aber hatte er einen ſolchen noch nicht ausfindig gemacht.

Roſe (Pogg. Ann. 39. Bd. p. 285) hat die Beziehungen der elektriſchen Polarität des Turmalins zu ſeiner Kryſtallform ausführlich unterſucht und gelangt zu folgendem Reſultate: Die vorherrſchende Form des Turmalins iſt eine dreiſeitige Säule, welche an beiden Enden durch Rhomboederflächen begränzt iſt; an dem einen Ende nun treffen die Kanten des Rhomboeders auf die Kanten der Säule, wie Fig. 330, wo g die zur Linie verkürzten Säulenflächen, R die Rhomboëderflächen ſind. Am andern Ende aber treffen die Rhomboëderkanten auf die Mitte der Säulenflächen, wie Fig. 331 zeigt. Während die Temperatur ſteigt, zeigt nun das Ende Fig. 330 poſitive, das Ende Fig. 331 negative Elektricität; bei ſinkender Temperatur hingegen iſt das Ende Fig. 330 negativ, das andere aber poſitiv elektriſch.

Fig. 330.

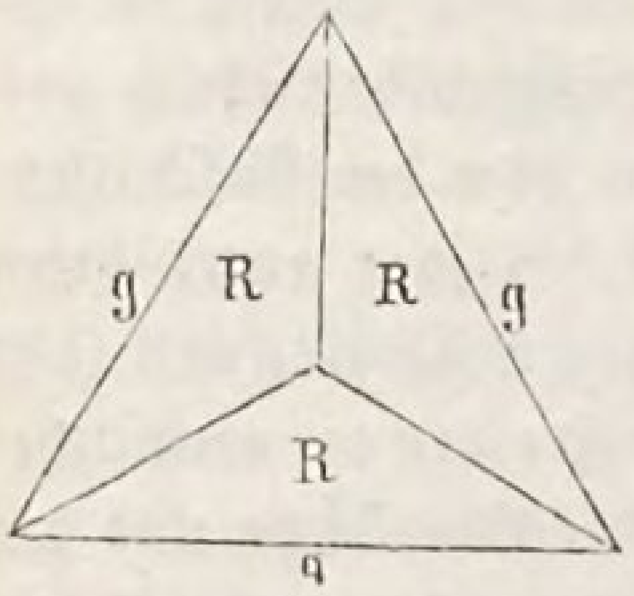
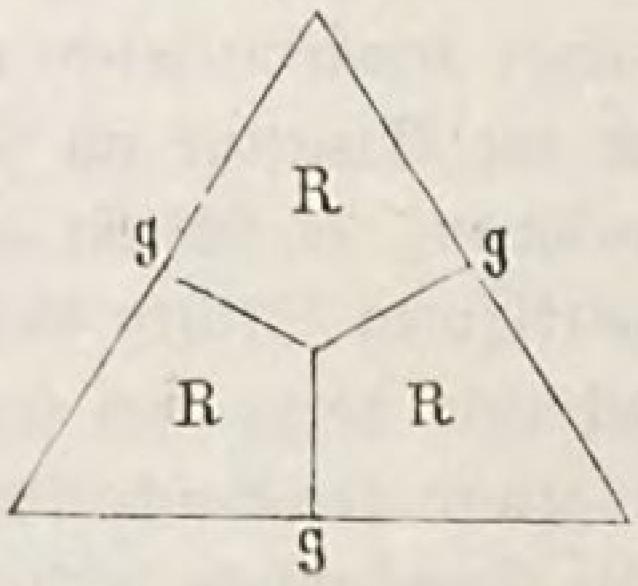


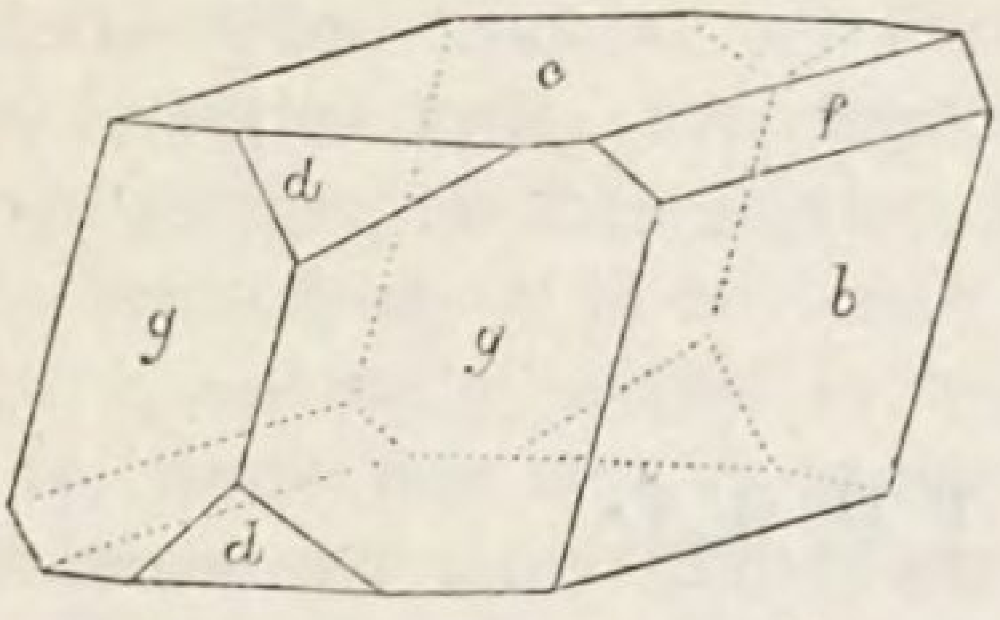
Fig. 331.



Hankel (Pogg. Ann. 49. Bd. p. 493) wandte zur Beſtimmung der elektriſchen Polarität von Kryſtallen das Bohnenberger'ſche Elektroſkop an. Der Zucker zeigte eine ſolche Polarität, wenn ſeine Temperatur ſtieg oder abnahm, wie dies bereits Brewſter beobachtet hatte. Die Kryſtallform des Zuckers iſt die Fig. 232 dargeſtellte; er iſt aber häufig in der Art hemiëdriſch, daß die beiden Flächen d an der vorderen Kante

fehlen, während ſie an der gegenüberſtehenden hintern Kante auftreten. Hankel fand nun, daß beim Erkalten dasjenige Ende negativ elektriſch iſt, an welchem die Flächen *d* fehlen, poſitiv hingegen an der gegenüberliegenden Kante, wo ſie ſich vorfinden. Beim Erwärmen zeigt der Kryſtall natürlich die entgegengeſetzte Polarität.

Fig. 332.



Hankel unterſuchte ferner in dieſer Beziehung die Weinſäure, das weinſaure Kali-Natron, das Kieſelzinkerz, bei welchem er Köhler's Angaben beſtätigt fand, den Axinit, Prehnit und Meſotyp. Wir können hier natürlich nicht auf die Details dieſer Unterſuchung eingehen.

In mehreren Aufſätzen, die ſich im 50. Bande von Poggendorff's Annalen finden, beſpricht Hankel ferner die elektriſche Polarität des Turmalins, bei welchem er Roſe's Angaben beſtätigt findet, des Topaſes, des Titanits, des Borazits und des Bergkryſtalls.

Eine neue gründliche Unterſuchung des beſprochenen Gegenſtandes haben G. Roſe und Rieß angeſtellt. Sie bezeichnen die beim Erwärmen und während der Erkaltung von Kryſtallen auftretende Elektricität, nach Brewſter's Vorgang, mit dem Namen der Pyroelektricität, um nicht zwei ganz verſchiedene Erſcheinungen unter dem Namen der Thermoelektricität zuſammenzufaſſen.

Denjenigen Pol des Kryſtalls, an welchem das algebraiſche Zeichen des Temperaturzuwachſes dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entſpricht, nennen ſie den analog elektriſchen Pol; den andern Pol nennen ſie den antilog elektriſchen Pol.

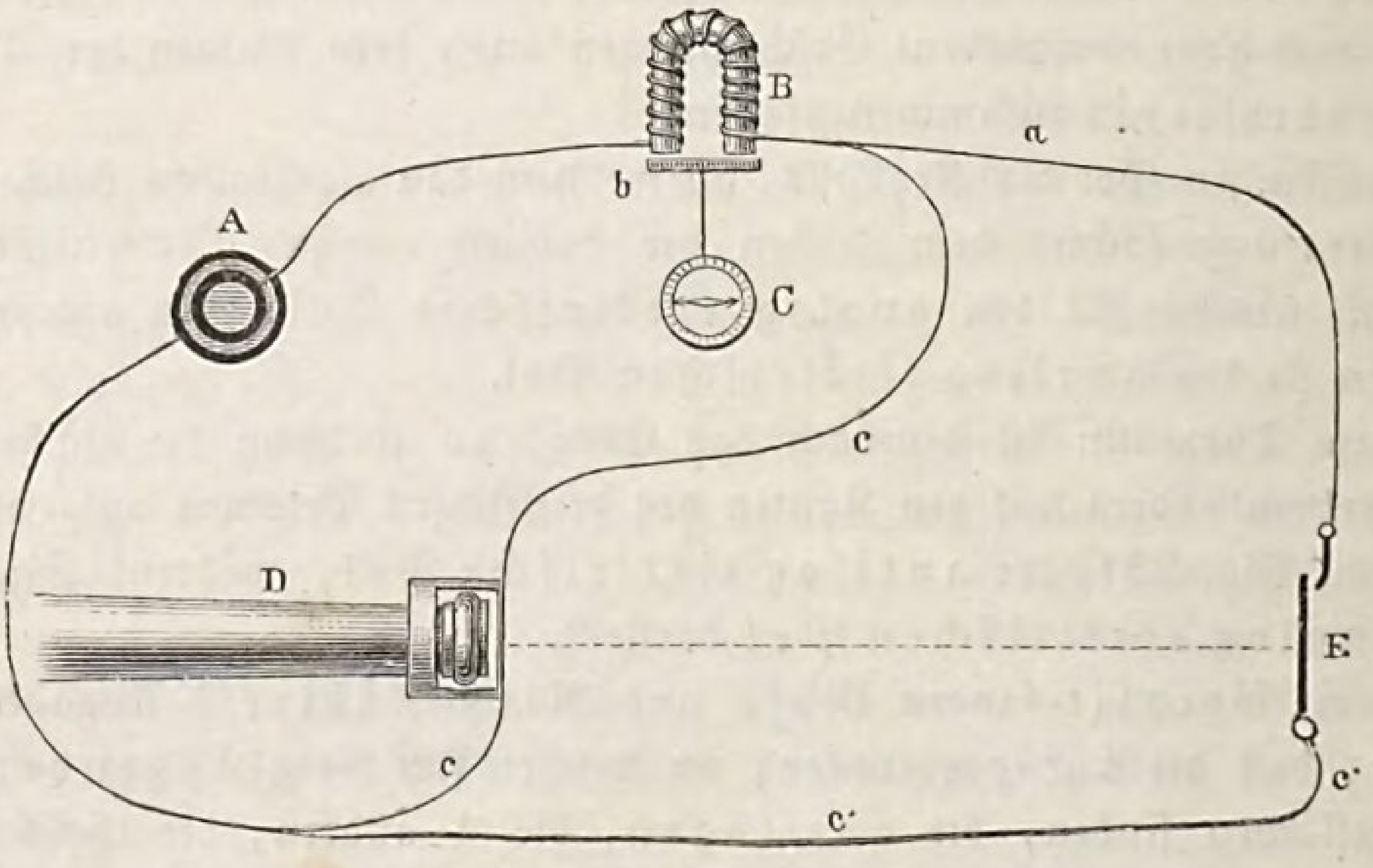
Beim Turmalin iſt demnach das Ende, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiſeitigen Prismas aufgeſetzt erſcheinen, Fig. 331, der antilog elektriſche Pol, während Fig. 330 den analog elektriſchen Pol darſtellt.

Beim Borazit fanden Roſe und Rieß Köhler's Angaben beſtätigt, daß die 4 Hexaëderecken, an welchen ſich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die antilogen, die 4 andern, die theils ohne, theils mit matten Tetraëderflächen vorkommen, die analogen Pole ſind. Hankel's Behauptung hingegen, daß der Borazit außer dieſen 4 Axen noch 3 andere habe, die mit den Octaëderaxen des Kryſtalls zuſammen fallen ſollen, beſtreiten ſie. Sie weiſen nach, daß Hankel's Beobachtungsmethode zu Täuſchungen Anlaß gab, welche außer dieſer noch mehrere andere irrige Behauptungen zur Folge hatten.

Nachträge.

307 **Das elektriſche Chronoſkop.** Die große Geſchwindigkeit der elektriſchen Ströme benutzte Wheatſtone, um ſehr kleine Zeiträume zu meſſen, und zwar befindet ſich die erſte Nachricht hiervon nach Wheatſtone's eigener Angabe (Compt. rend. XX. p. 1555) in dem Bulletin über die Sitzung der Brüſſeler Akademie der Wiſſenſchaften vom 7. October 1840. Die nächſte Abſicht Wheatſtone's war, die Zeit zu meſſen, welche Geſchützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die ſchematiſche Fig. 333.

Fig. 333.



A iſt die elektriſche Batterie; einer ihrer Pole iſt mit dem Elektromagneten *B* verbunden; iſt der Strom geſchloſſen und alſo der Anker des Magnets angezogen, ſo ſteht die Uhr *C* ſtill; verliert aber der Magnet ſeine Kraft, ſo zieht eine Feder den Anker *b* ab und dadurch wird das Uhrwerk *C* ausgelöſt und läuft ſo lange bis der Strom wieder geſchloſſen wird.

Dieſes Oeffnen und Schließen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weiſe. Um die Mündung des Geſchützes *D* iſt ein Holzring gelegt, über welchen einer der beiden Drähte *c*, *c'* geſpannt iſt, welche vom anderen Pole der Säule kommen, das Ende dieſes Drahtes geht zum Magnet und ſchließt die Kette; dieſe Verbindung wird durch die heraustretende Kugel zerriſſen, die Kette geöffnet, und ſo die Uhr in Bewegung geſetzt. Der zweite Draht *c'* iſt mit einem in beliebiger Entfernung aufgeſtellten Ziele *E* verbunden, welches ſo eingerichtet iſt, daß die geringſte Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallſtücke bringt, welches durch den Draht *a* mit demſelben Pole des Magnets verbunden iſt, wie der Draht *c*. Berührte nun die Kugel das Ziel, ſo wurde dadurch die Kette abermals geſchloſſen, der Anker angezogen und das Uhrwerk geſtellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an. Ein ſolches Chronoſkop, welches in der Artillerieſchule zu Woolwich einer Commiſſion von Officieren vorgezeigt wurde, gab $^1/_{7300}$ Secunden an.

Wheatſtone fand indeſſen eine bedeutende Fehlerquelle darin, daß der Anker nicht raſch genug vom Magnet losging und ebenſo nicht raſch genug angezogen wurde; er ſuchte dieſem dadurch abzuhelfen, daß der Magnet vor dem Schuſſe nur durch ein Element angeregt wurde, deſſen Wirkung er durch einen Rheoſtat ſo abglich, daß der Anker nur gerade noch haftete. Das Wiederanziehen des Ankers aber, nachdem die Kugel das Ziel berührt hatte, wurde durch 6 kräftige Elemente bewirkt. Allein auch ſo waren Annäherungen von $^1/_{500}$ — $^1/_{1000}$ Secunde noch ganz unſicher. Wheatſtone glaubt aber Annäherungen auf $^1/_{60}$ Secunde ſicher erreichen zu können.

Später conſtruirte Wheatſtone ein Chronoſkop, bei welchem das Gewicht an einem auf der Axe des Hemmrades mit ſehr einfacher Hemmung aufgewickelten Faden hing und der Zeiger an derſelben Axe ſteckte. Die Art der Hemmung iſt jedoch nicht näher angegeben, ſo wenig als die übrigen Vorrichtungen, welche Wheatſtone anwendete, um mittelſt dieſes Inſtruments die Zeit zu meſſen, welche eine Piſtolenkugel zu verſchiedenen Flugweiten bei verſchiedener Ladung gebrauchte, und zur Meſſung der Fallzeit bei Fallhöhen von 1 Zoll; er will jedoch ſehr übereinſtimmende Reſultate erhalten haben.

Für den folgenden Apparat gebe ich wörtlich die Beſchreibung, wie ſie in Pogg. Ann. Bd. 65, S. 458 überſetzt iſt. »Eine für gewiſſe Verſuche wichtige Abänderung des Apparats will ich noch erwähnen. Sie beſteht darin, daß man, ſtatt die Kette zu öffnen und wieder zu ſchließen, wie zuvor geſagt, den Elektromagneten mittelſt zwei gleicher und entgegengeſetzter Ströme im Gleichgewicht hält, und darauf den erſten und

den zweiten Strom unterbricht. Der zweite Strom wird durch eine Kugel unterbrochen, die einen Rahmen durchfliegt, der in parallelen, dicht zuſammen liegenden Linien mit einem in der Kette befindlichen, ſehr feinen Metalldraht überzogen iſt. Dieſe Vorrichtung liefert die Mittel zur Anwendung eines von dem erſten ganz verſchiedenen Chronoſkops. Zwei Pendel, von denen das eine halbe Secunden ſchlägt und das andere einen etwas ſchnellern Gang hat, werden jedes an dem Ende ihres Schwingungsbogens durch einen Elektromagneten gehalten. Wenn die Kugel aus dem Gewehr fliegt, wird das eine Pendel in Freiheit geſetzt und wenn ſie den Metalldraht des Rahmens zerreißt, geſchieht es mit dem andern. Man zählt alsdann die Schwingungen eines der Pendel, bis ſeine Bewegung mit der des andern zuſammenfällt, und hernach beſtimmt man leicht die Zeit, welche die Anfrage der erſten Schwingungen beider Pendel trennte.«

Es iſt mir nicht klar, wie dieſer letztere Apparat mit dem Elektromagneten mit zwei entgegengeſetzten Strömen in Verbindung ſteht.

Wheatſtone hatte übrigens die Zeichnungen zu ſeinem Apparate im Mai 1841 auch in Paris gezeigt und auch einen für den ruſſiſchen Artillerie-Hauptmann v. Konſtantinoff verfertigen laſſen. Letzterer hätte übrigens gerne einen Apparat gehabt, wodurch man die Geſchwindigkeiten einer Kugel auf verſchiedenen Stellen ihrer Bahn hätte beſtimmen können, ohne daß ſeine Unterredungen mit Wheatſtone in dieſer Beziehung zum Ziel führten.

In Paris angekommen, wendete ſich v. Konſtantinoff an Breguet, um eine Maſchine nach ſeinen Ideen für den genannten Zweck zu erhalten. Breguet verfertigte auch eine ſolche und beſchrieb ſie in einer in dem Compt. rend. XX. p. 157 abgedruckten Note. Die Maſchine iſt ſehr complicirt und ihre Beſchreibung keineswegs in der Abſicht abgefaßt, Andern dadurch eine vollkommen klare Einſicht in dieſelbe zu geben. Da meines Wiſſens keine ähnlichen Maſchinen gefertigt wurden und die mit dem einen nach St. Petersburg gekommenen Exemplare angeſtellten Verſuche mir ebenfalls nicht bekannt wurden, ſo mag hier die Bemerkung genügen, daß der Hauptapparat fünf Elektromagnete hat, wovon drei auf einem Wagen ſich befinden, der auf einer Schienenbahn vor einer Walze ſich bewegt. Zwei dieſer Magnete des Wagens tragen Stifte, welche, ſo lange der Anker angezogen iſt, auf der ebenfalls ſich bewegenden Walze einen Eindruck machen.

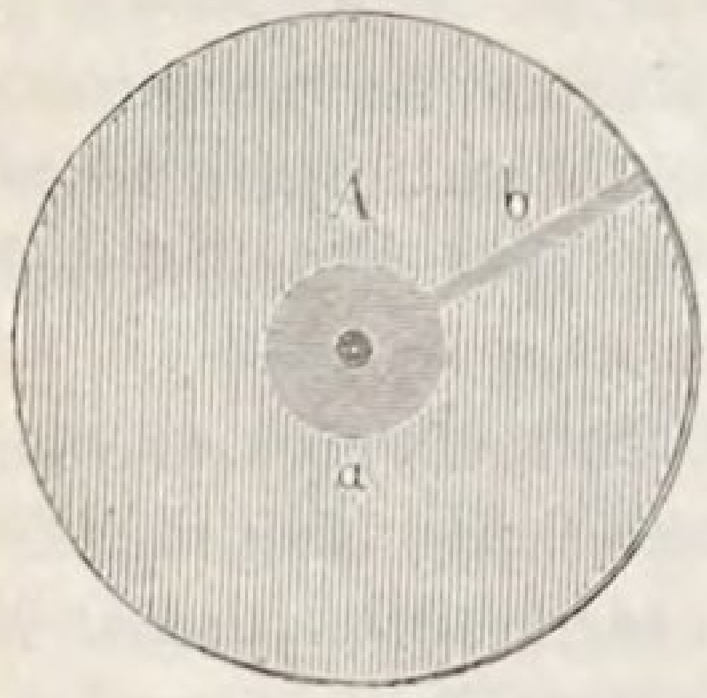
Herr Breguet hatte die Eitelkeit, nachdem er doch im Eingange der Arbeiten Wheatſtone's und der Bekanntſchaft von Konſtantinoff's mit dieſem Erwähnung gethan, und nachdem er die zu erfüllenden Bedingungen aufgezählt hatte, zu ſagen: Il nous vint naturellement dans

l'idée, d'employer pour cet objet l'électricité, was eben zunächſt die Bekanntmachung Wheatſton's und eine nicht ſehr erquickliche Correſpondenz herbeiführte.

Breguet's Veröffentlichung war jedoch durch eine ähnliche von Pouillet hervorgerufen worden, welcher zwar ebenfalls elektriſche Ströme, aber auf ganz anderem Wege anwendete.

Pouillet geht nämlich von der Anſicht aus, daß die Größe der Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektriſchen Strom von der Stärke des letzteren und der Zeit abhänge, während welcher der Strom auf die Nadel wirkt, wenn dieſe letztere überhaupt nur klein iſt. Man kann alſo aus dem unter verſchiedenen Umſtänden erfolgenden Ausſchlage auf die Zeit ſchließen, wenn immer der gleich ſtarke Strom angewendet wird und das Verhältniß zwiſchen Zeit und Ausſchlag bekannt iſt. Pouillet hat das letztere nicht theoretiſch entwickelt, ſondern durch Verſuche auf folgende Weiſe eine Tabelle conſtruirt.

Fig. 334.



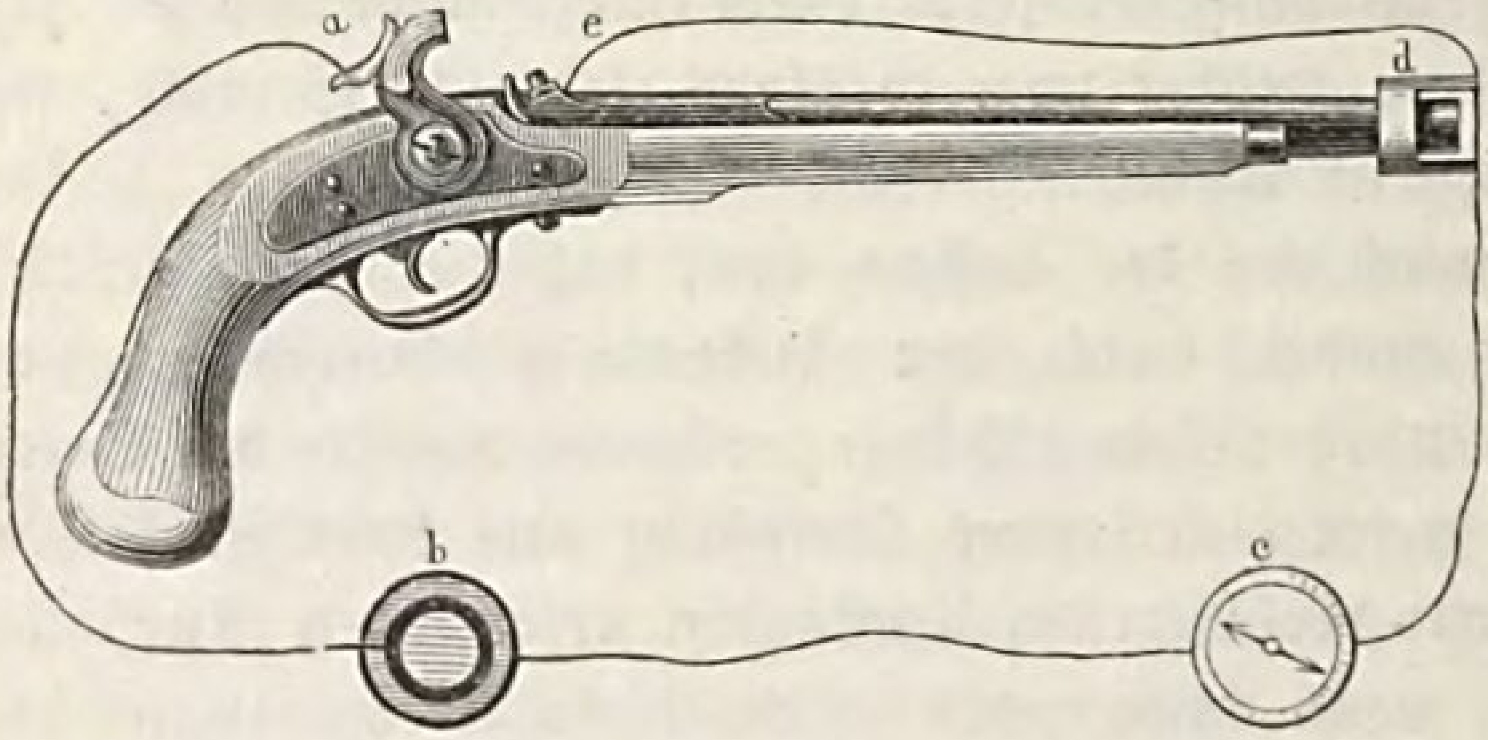
Auf eine runde Glasplatte *A*, Fig. 334, von 84 Centimeter Durchmeſſer, welche um eine Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolſtreifen *a*, von dieſem aus aber ein gerader Streifen *b* als Halbmeſſer geklebt, der nur ein Millimeter Breite hatte. Von den beiden Stromenden ruhte das eine federnd auf den Stanniolſtreifen, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, ſo ſchließt ſich die Kette ſo oft und auf ſo lange, als ſich der Stanniolſtreifen *b* unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasſcheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Axe die Zeit der Schließung leicht beſtimmen, ſie war bei Pouillet, wenn die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und dieſe in einer Secunde einmal gedreht wurde, $^1/_{2250}$ Secunden.

Pouillet fand, daß der Strom einer Säule aus ſechs Daniell'ſchen Elementen, der 40 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmeſſer zu durchlaufen hatte und während $^1/_{5000}$ Secunde auf die Nadel eines wenig empfindlichen Galvanometers wirkte, eine Ablenkung von 12 Graden bewirkte, welcher Bogen die Nadel in 10 Secunden zurücklegte. Mit einem andern empfindlichern Inſtrument erhielt Pouillet bei einem Elemente und 20 Meter Kupferdraht in $^1/_{5000}$ Secunde 15^0 Ablenkung.

Pouillet hat nur Verſuche über die Geſchwindigkeit der Pulverent-

zündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte Das Schloß eines Gewehres wurde vom Laufe iſolirt, und der Hahn a, Fig. 335 mit dem einen Pole einer Volta'ſchen Batterie b verbunden. Von dem andern Pole führte ein Draht zum Multiplicator c und von dieſem über einen Holzring d vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen e. Die Kette war alſo geſchloſſen von dem Augenblick, wo der Hahn aufſchlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verließ. Bei der angewendeten Ladung fand Pouillet dieſe Zeit = $\frac{1}{140}$ — $\frac{1}{150}$ Secunden. Pouillet hoffte, daß ſein Inſtrument noch manche andere Anwendungen geſtatten werde, namentlich um die Dauer der ſogenannten momentanen Ströme zu beſtimmen; es ſcheint aber nicht, als habe daſſelbe bei den Phyſikern vielen Beifall gefunden. Der Entwurf einer ſolchen Tabelle, wie ſie oben erwähnt wurde, iſt jedenfalls ſehr umſtändlich.

Fig. 335.



Die Priorität der Erfindung des elektriſchen Chronoſkops nahm auch Siemens für die preußiſche Artillerie in Anſpruch (Pogg. Ann. 66. Bd. S. 435), indem bereits 1838 der ganze Plan ausgearbeitet geweſen ſey und nur die Ausführung des Uhrwerks mit coniſchem Pendel, das $\frac{1}{1000}$ Secunden angiebt, habe die wirklichen Verſuche bis 1842 aufgehalten; die Sache ſelbſt ſey aber ſeiner Zeit in öffentlichen Blättern beſprochen worden.

An dem Uhrwerk war ein Zeiger ſo angebracht, daß er durch die Wirkung eines Elektromagneten mit dem im Gange befindlichen Uhrwerk verbunden und durch einen zweiten Elektromagneten wieder ausgelöſet wurde, wenn die Kugel das Ziel traf.

Man erkannte bald, daß die Erregung des Magnetismus immer einen großen Bruchtheil der zu meſſenden Zeit in Anſpruch nahm und daß das Gleiche mit den mechaniſchen Zwiſchengliedern der Fall ſey, welche die Bewegung des Ankers auf den Zeiger überpflanzen ſollten. Die erſteren Fehler vermied man, indem man ſtatt des Anziehens eines Ankers, das Abfallen eines ſolchen, der nur noch ſchwach vom Magnete getragen wurde, benutzte, um auf den Zeiger zu wirken. Während alſo vorher die Kugel beim Austritt aus dem Rohr ſowohl als beim Ankommen am

Ziel eine Kette zu ſchließen hatte, wurde jetzt in beiden Fällen ein Strom unterbrochen. Man erhielt im Allgemeinen damit im Sommer 1844 befriedigende Reſultate.

Siemens ſelbſt hatte die unmittelbare Wirkung des elektriſchen Funkens vorgeſchlagen, ohne alle mechaniſchen Zwiſchenmittel und führte dieſes ſpäter auch in folgender Weiſe aus. Ein ſtählerner, ſorgfältig gearbeiteter, iſolirter Cylinder, wurde durch ein Uhrwerk mit coniſchem Pendel in gleichmäßig ſchnelle Rotation verſetzt; dieſem möglichſt nahe ſtand eine ebenfalls iſolirte Metallſpitze, welche mit dem innern Belege einer geladenen Leydner Flaſche verbunden war; von dem äußeren Belege führte ein Draht vor der Geſchützmündung vorbei und ebenſo ein vom Cylinder kommender, beide in einem die Schlagweite übertreffenden Abſtande von einander. Die heraustretende Kugel ſetzt dieſe beiden Drähte in Verbindung, die Flaſche wird entladen und der Funke macht auf dem polirten Stahlcylinder einen leicht erkennbaren, ſcharf begränzten Punkt. In beliebiger Entfernung iſt ein zweites Drahtpaar mit einer zweiten Leydner Flaſche aufgeſtellt, und auf gleiche Weiſe mit Cylinder und Stift verbunden. Der Abſtand beider durch die Entladung bewirkte Punkte auf dem Cylinder und ſeine Rotationsgeſchwindigkeit geben die Zwiſchenzeit an. Man kann noch mehrere Drahtpaare anbringen oder in größere Entfernungen Rahmen mit parallelen Drähten, wovon z. B. 1, 3, 5 . . . mit dem Cylinder, 2, 4, 6 . . . mit dem äußeren Belege der Flaſche verbunden ſind. Nach jedem Schuſſe braucht man nur die Spitze vor dem Cylinder zu verrücken. Das Inſtrument befindet ſich dabei in einem benachbarten Zimmer.

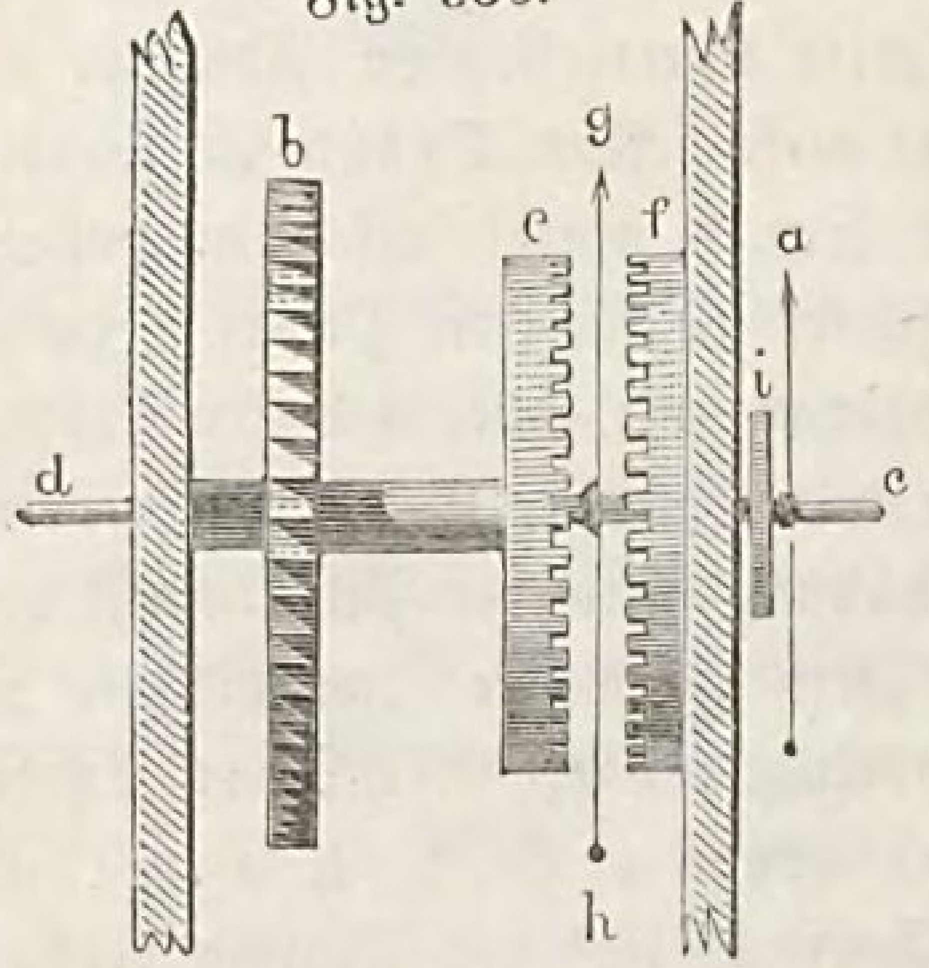
Für größere Bahnſtrecken glaubt jedoch Siemens ſelbſt das Inſtrument nicht brauchbar, da er es für ſchwierig hält, in dieſem Falle die Drähte gehörig zu iſoliren. Er ſchlägt für dieſen Fall vor, Cylinder und Stift mit einer Inductionsrolle zu verbinden, um durch den Schuß den inducirenden Strom unterbrechen zu laſſen.

Reſultate, die man durch ſolche Verſuche erhalten hätte, habe ich nirgends auffinden können. In Wheatſtone's Chronoſkop erkannte der Uhrmacher und Mechaniker Hipp (Pogg. Ann. 1848, Nr. 8) als Hauptfehler den Umſtand, daß das Uhrwerk erſt beim Beginne der zu meſſenden kleinen Zeit in Gang geſetzt wird, wobei nothwendig eine größere, jedoch für alle Verſuche etwa gleiche Zeit verſtreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen iſt, eine Zeit, die in manchen Fällen ſelbſt größer ſeyn wird, als die zu meſſende, wenn ſie gleichwohl verſchwindend klein iſt, ſobald man den Gang des Uhrwerks mit einer andern Uhr vergleicht. Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, daß er den Zeiger der Uhr nur durch den Elektromagneten mit dem ſchon in Gange befindlichen Uhrwerk

verbinden ließ, ſo lange die zu meſſende Zeit dauerte, und Oehlſchläger will bei Fallverſuchen mit einem ſolchen Inſtrumente, welches $^1/_{500}$ Secunden angab, ſehr gute Reſultate erhalten haben, ſelbſt bei Fallhöhen von 20—1500 Millimetern.

Der Apparat von Hipp iſt in Dingler's polyt. Journal 114. Bd. näher beſchrieben und abgebildet. Das Echappement des Uhrwerks beſteht in einer Feder, deren Spitze die Zähne des Steigrades berührt. Die Axe des vorletzten Rades *b*, Fig. 336 (es iſt dieſes ein Stirnrad mit gewöhnlichen Zähnen, um in das Getriebe des Steigrads zu greifen, während die beiden Kronräder *e* und *f* ſpitzige Zähne haben), welches ſich in $^1/_{10}$ Secunde dreht, iſt durchbohrt, und durch dieſe Oeffnung iſt die Axe *cd* des Zeigers *a* geſteckt, welcher ſich vor einem in 100 Theile getheilten Zifferblatte befindet und durch ein auf der Außenſeite der Uhr befindliches Zwiſchenrad *i*, deſſen Zähne in ein größeres unter ihm befindliches Rad eingreifen, einen zweiten, in der Zeichnung weggelaſſenen, Zeiger dreht, der in 10 Secunden umläuft, ſo daß alſo 100 Umdrehungen des Zeigers *a* auf 1 Umdrehung des unteren Zeigers kommen. Auf der Axe des Rades *b* ſitzt das Kronrad *e* und dreht ſich mit ihr; dieſem parallel iſt das Kronrad *f* unbeweglich an der Platine der Uhr befeſtigt; zwiſchen beiden ſteckt feſt auf der Axe *cd* der Zeiger *gh*, und auf die Axe wirkt auf der Seite von *d* der Anker des Elektromagnets, welcher den Zeiger *gh* gegen *f* drückt, ſo lange der Strom geſchloſſen iſt, wodurch ein Stillſtehn des Zeigers *a* bedingt iſt; dagegen aber zieht eine Feder den Zeiger *gh* gegen *e*, wenn der Strom nicht geſchloſſen iſt, und während dieſer Zeit nimmt er alſo an der Bewegung Theil.

Fig. 336.



Sollen Fallzeiten gemeſſen werden, ſo liegt eine metallene Kugel zwiſchen den beiden federnden und mit Klemmſchrauben verſehenen metallenen Armen *ab*, Fig. 337, und ſchließt den Strom; zieht man aber die iſolirende Klemme *c* weg, ſo fällt die Kugel, der Strom iſt offen. Die Kugel fällt auf ein Blech *a* Fig. 338, welches

Fig. 337.

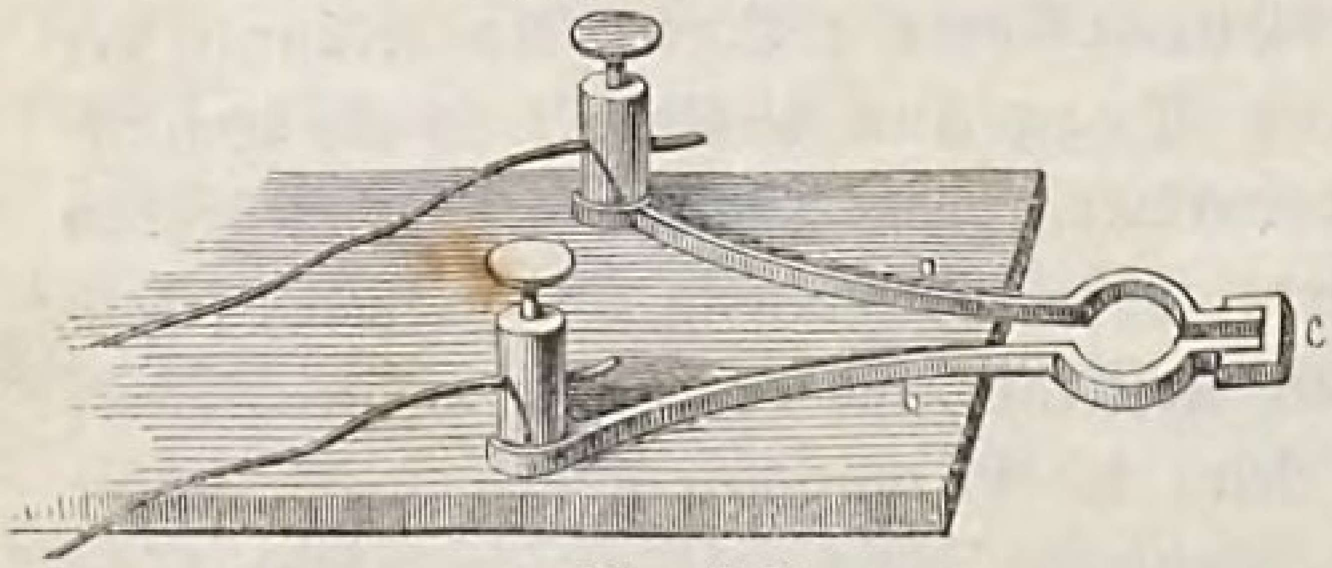
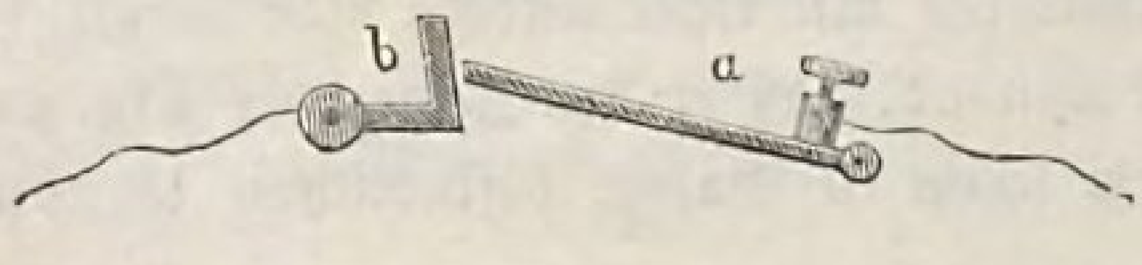
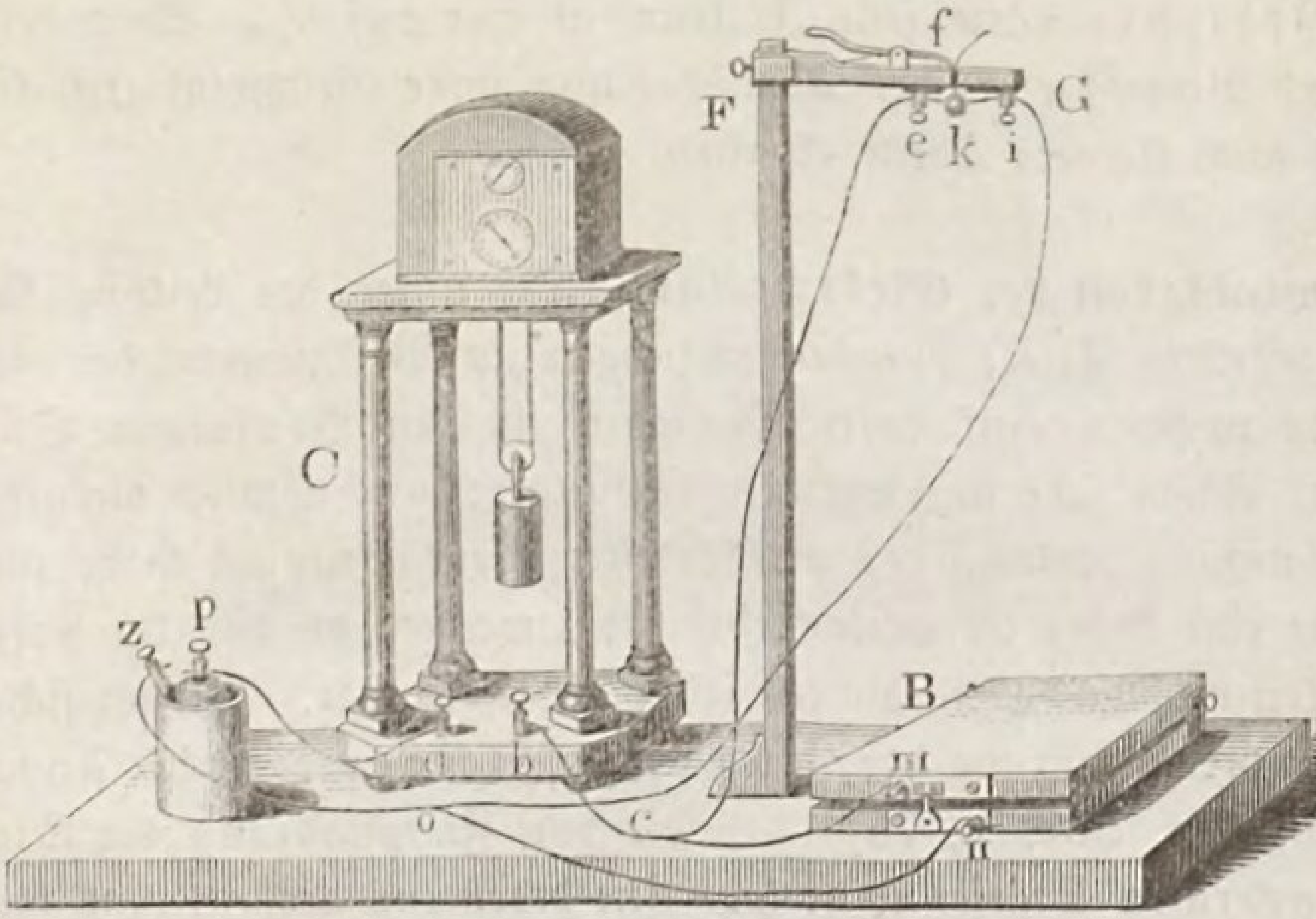


Fig. 338.



ebenfalls mit einem Pol der Kette verbunden iſt und drückt dieſes gegen die metallene Strebe *b*, wodurch der Strom wieder geſchloſſen wird. Man ſoll, ſelbſt wenn Fallhöhen von 1 Centimeter angewendet werden, keine größeren Abweichungen vom Mittel erhalten als 1—2 Tauſendſtel einer Secunde. Die Fig. 339 zeigt ein ſolches Chronoſkop in ſeiner Zu-

Fig 339.



ſammenſtellung mit Kette und Fallapparat, mit der Abänderung, daß die Kugel *k*, zwiſchen *e* und *i* durch einen Faden gehalten wird, den ein Druck auf *f* auslöſ't. Die Kugel fällt auf die Brettchen *B* und ſtellt durch den Schlag bei *m* und *n* die Verbindung her. *F* iſt ein getheilter Stab. Der Preis eines ſolchen Chronometers nebſt Fallapparat iſt von Herrn Hipp in Reutlingen auf 88 fl. geſtellt. Bemerkt muß übrigens werden, daß, auch in dem oben angeführten Apparate der preußiſchen Artillerie (Poggend. Ann. 1846) das Uhrwerk ſchon vorher im Gange war, und der Zeiger nur durch die Wirkung des Stromes mit demſelben verbunden wurde.

Mit der Conſtruction ſolcher Chronoſkope beſchäftigte ſich nach dem Journal de Liège vom 8. Mai 1849 auch Profeſſor Gläſener zu Lüttich. Auch er wendete ein ſchon im Gange befindliches Uhrwerk an; um jedoch die Fehlerquelle zu vermeiden, welche von der Zeit herrührt, die zur Erregung des Magnetismus in Eiſen erforderlich iſt, wählte er nur die Unterbrechung der Ströme. Sein Uhrwerk trieb nämlich um eine horizontale Axe eine mit Lampenruß geſchwärzte und getheilte Trommel von Metall, über der eine Anzahl ſtählerner Spitzen in $^1/_2$ Millimeter Entfernung ſich befanden, die an Ankern befeſtigt waren, von denen jeder durch einen eigenen Elektromagneten angezogen wurde. Durch eine Meſſingfeder war

dieſe Anziehung ſo regulirt, daß die geringſte Stromverminderung das Abfallen des Ankers bewirkte. Wurde nun durch das Aufſchlagen des Hahns der Strom der erſten, durch das Austreten der Kugel jener der zweiten, in einiger Entfernung jener der dritten Spitze u. ſ. w. unterbrochen, ſo ließen ſich aus der Stelle, wo die Eindrücke der Stahlſpitzen begannen, die Zeiten angeben, welche zu den einzelnen Wegen erforderlich waren. Gläſener hatte ſein Inſtrument nur auf $^1/_{100}$ Secunden getheilt, durch Vergrößerung der Trommel und ihrer Geſchwindigkeit könnte man wohl auch kleinere Theile erhalten.

308 **Geſchwindigkeit der Elektricität.** Die unter der Leitung Walker's angeſtellten Telegraphenbeobachtungen zur Beſtimmung der Längenunterſchiede zwiſchen entfernten Stationen in den Vereinigten Staaten führten zu einem ſehr unerwarteten Reſultate; um nämlich die gehörige Uebereinſtimmung zwiſchen den verſchiedenen Beobachtungen hervorzubringen, mußte eine kleine Correction eingeführt werden, die von der jedesmaligen Entfernung der Telegraphenſtation abhängig war. Es bot ſich hierfür keine andere Erklärung dar, als die von Walker gemachte Annahme (Proc. Am. phil. Soc. V. 76), daß die zur Fortpflanzung der Signale zwiſchen entfernten Stationen nöthige Zeit bedeutend größer, und folglich die Geſchwindigkeit des elektriſchen Stromes oder vielmehr die Geſchwindigkeit der Stromverbreitung, bedeutend geringer iſt, als man bis dahin geglaubt hatte.

Nach den in der Nacht vom 23. Januar 1849 zwiſchen Cambridge und Waſhington angeſtellten Verſuchen berechnete Walker, daß ſich der elektriſche Strom mit einer Geſchwindigkeit von 18,690 engliſchen Meilen in der Secunde fortpflanze.

Eine zweite am 31. October 1849 angeſtellte Verſuchsreihe ergab eine Geſchwindigkeit von 16,000 engliſchen Meilen in der Secunde.

Am 4. Februar 1850 wurde eine dritte Verſuchsreihe vorgenommen, an welcher ſich auch B. A. Gould jun. betheiligte, welcher darüber ausführlich in dem American Journal (2nd series, vol. XI. p. 67, 153) berichtet (Krönig's Journal für Phyſik des Auslandes, Bd. III. p. 1). Die auf den verſchiedenen Stationen aufgeſtellten Telegraphen ſind Morſe'ſche. Die Einrichtung iſt ſo getroffen, daß in der Ruhelage alle Schlüſſel geſchloſſen ſind und alſo ein Strom ununterbrochen in den Leitungsdrähten circulirt.

Nehmen wir nun an, daß am einen Ende einer langen Leitung durch das Pendel einer Uhr bei jeder Schwingung für einen Augenblick der Strom unterbrochen und unmittelbar darauf wieder geſchloſſen wird, ſo

werden die Aufzeichnungen der einzelnen Stationen das Anſehen von Fig. 340 haben.

Fig. 340.

Während nun an einer Endſtation der Telegraphenleitung die Uhr aufgeſtellt iſt, welche in der angegebenen Weiſe ihre Aufzeichnung auf allen Stationen macht, wird auf der andern Endſtation mittelſt des Schlüſſels durch Unterbrechung der Leitung von Zeit zu Zeit ein willkürliches Signal gegeben. Durch dieſes willkürliche Unterbrechen des Stromes wird nun auf allen Stationen in dem entſprechenden Secundenſtrich eine Unterbrechung entſtehen, welche wir die Signalpauſe nennen wollen, während der Zwiſchenraum zwiſchen je zwei Secundenſtrichen die Uhrpauſe genannt werden ſoll.

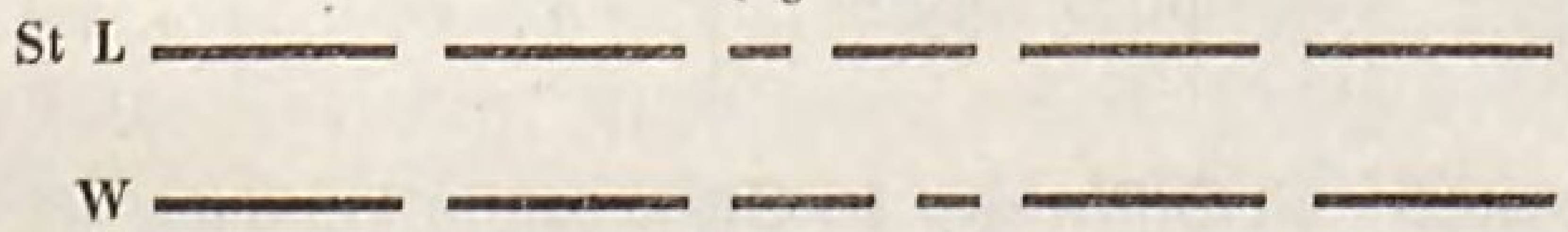
Bei den Verſuchen vom 4. Februar war die Uhr in Waſhington aufgeſtellt, während die willkürlichen Unterbrechungen in St. Louis gemacht wurden.

Um leichter auffinden zu können, welches die entſprechenden Secundenſtriche der verſchiedenen Stationen ſind, war die Einrichtung getroffen, daß zu Anfang jeder Minute eine Uhrpauſe ausblieb.

Wegen des ungleichen Ganges der verſchiedenen Telegraphen fällt nun freilich die Länge der Secundenſtriche, der Uhr- und der Signalpauſen nicht auf allen Stationen ganz gleich aus, es iſt jedoch leicht, ſie auf gleiche Länge zu reduciren.

Es fand ſich nun, daß die Signalpauſe auf den verſchiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entſprechenden Secundenſtriches markirt wurde, in St. Louis lag die Signalpauſe näher am Anfang, in Waſhington lag ſie näher am Ende des Striches, welcher der gleichen Secunde angehört, wie dies Fig. 341 angedeutet iſt.

Fig. 341.



Aus der Differenz in der Lage der Signalpauſen läßt ſich nun auf die Geſchwindigkeit der Stromverbreitung ſchließen.

Es werde in einem beſtimmten Moment, etwa in der Mitte einer Secunde, in St. Louis ein willkürliches Signal gegeben, ſo iſt in dieſem Augenblick noch nicht die Hälfte des entſprechenden Secundenſtriches angekommen, die Signalpauſe wird alſo in St. Louis vor der Mitte des

Secundenſtriches aufgezeichnet. In Waſhington dagegen wird zwar in der Hälfte der Secunde auch die Mitte des Secundenſtriches gemacht, allein die von St. Louis kommende Signalpauſe wird erſt ſpäter notirt, und ſo ergiebt ſich denn, daß die Differenz von der Mitte der Signalpauſe in St. Louis bis zur Mitte der entſprechenden Signalpauſe in Waſhington das Doppelte der Zeit iſt, welche der elektriſche Strom braucht, um ſich von der einen Endſtation bis zur andern fortzupflanzen.

Daſſelbe gilt für die Differenzen der Signalpauſen der Zwiſchenſtationen.

Die Differenz der Signalpauſen wurde natürlich nicht aus einer, ſondern als Mittel einer ganzen Reihe von Beobachtungen beſtimmt.

Die Drahtlängen zwiſchen den verſchiedenen Stationen waren folgende (nach engliſchen Meilen):

Waſhington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1045	757	423	289	St. Louis.

Als die Signale in St. Louis gegeben wurden, ergaben ſich folgende Differenzen zwiſchen den Aufzeichnungen von Waſhington und den anderen Stationen:

Aufzeichnung.	Zahl der Beobachtungen.	Intervall.	Geſchwindigkeit.
Pittsburg	37	0,0373″	15 442 Meilen
Cincinnati	46	0,0844	14 748
Louisville	46	0,1163	12 846
St. Louis	36	0,1108	13 484

Ebenſo wurden die Differenzen der Signalpauſen beſtimmt, als die willkürliche Unterbrechung an den verſchiedenen Zwiſchenſtationen gemacht wurden.

Als Mittel aus ſämmtlichen an dieſem Tage gemachten Beobachtungen ergab ſich die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des elektriſchen Stromes gleich 14900 engliſchen Meilen.

In der folgenden Tabelle iſt dies Reſultat mit den andern nach der gleichen Methode an verſchiedenen Tagen erhaltenen zuſammengeſtellt. Waſhington war ſtets die eine Endſtation.

Datum.	Endſtation.	Geſchwindig-keit.
23. Januar 1849 . . .	Cambridge	18 000
31. October 1849 . . .	Cincinnati	18 330
4. Februar 1850 . . .	St. Louis	14 900
5. Februar 1850 . . .	Charleston	16 856

Als Mittelwerth ergiebt ſich daraus eine Geſchwindigkeit von 15,890 engliſchen Meilen in der Sekunde.

Nach Wheatſtone's ſinnreichem Verſuch iſt die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Elektricität 288,000 engliſche Meilen in der Secunde, alſo ungefähr 18mal größer, als nach den amerikaniſchen Verſuchen.

Wheatſtone's Leitung war durch Kupferdrähte gebildet, welche 1,7^{mm} Durchmeſſer hatten, während zur amerikaniſchen Telegraphenleitung Eiſendraht von 3^{mm} Durchmeſſer verwendet worden war. Der ſpecifiſche Leitungswiderſtand des Eiſens iſt 6mal ſo groß als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikaniſchen Drähte einen ungefähr dreimal größeren Querſchnitt als jene; bei gleicher Länge war daher der Leitungswiderſtand der amerikaniſchen Leitung nahezu doppelt ſo groß, als beim Wheatſtone'ſchen Verſuch; aus der Ungleichheit des Leitungswiderſtandes läßt ſich alſo der bedeutende Unterſchied der Wheatſtone'ſchen und Walker'ſchen Reſultate nicht zurückführen, man muß alſo wohl annehmen, daß dieſer Unterſchied weſentlich dadurch bedingt iſt, daß das eine Mal mit Reibungselektricität experimentirt wurde, während das andere Mal ein galvaniſcher Strom zur Anwendung kam.

Als durch Einſchaltung einer weiteren galvaniſchen Batterie die elektromotoriſche Kraft vergrößert wurde, ergab ſich kein merklicher Zuwachs in der Geſchwindigkeit; daraus folgt jedoch noch nicht, daß die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Elektricität von der Stromſtärke unabhängig ſey.

Mit dieſen Reſultaten, welche unter den bis jetzt gemachten Beſtimmungen über die Geſchwindigkeit des galvaniſchen Stromes am meiſten Zutrauen zu verdienen ſcheinen, ſtimmen die Reſultate nicht überein, welche Fizeau und Gounelle in den Comptes rendus (t. XXX. p. 439, Pogg. Ann. 80. Bd. p. 158) über dieſen Gegenſtand veröffentlichen. Die Beſchreibung der Methode iſt, wie Gould mit Recht bemerkt, ſehr dunkel, und die Data, aus denen die Folgerungen abgeleitet wurden, ſind nicht vollſtändig mitgetheilt. Den genannten franzöſiſchen Phyſikern zufolge ſoll ſich die Elektricität in einem Eiſendraht von 4^{mm} Durchmeſſer mit einer Geſchwindigkeit von 63,200 Meilen und in einem $2\frac{1}{2}^{mm}$ dicken

Kupferdraht mit einer Geſchwindigkeit von 110,000 Meilen fortpflanzen. Die Spannung der Elektricität ſoll keinen Einfluß auf die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit derſelben haben und ſie ſoll ſich nicht mit dem Querſchnitt des Leitungsdrahtes, ſondern nur mit dem Material deſſelben ändern, ohne jedoch dem ſpecifiſchen Leitungsvermögen proportional zu ſeyn.

Nach Mitchel (Pogg. Ann. 80. Bd. p. 161) iſt die Fortpflauzungsgeſchwindigkeit der Elektricität 28,500 engliſche Meilen in der Secunde. Die Beſchreibung der Beobachtungsmethode iſt höchſt undeutlich.

Die nächſte Zukunft wird uns wohl über dieſen eben ſo wichtigen als intereſſanten Gegenſtand neues Material liefern.

09 **Unipolare Induction.** Es iſt eine bekannte Thatſache, daß in allen Fällen, wo durch einen galvaniſchen Strom, welcher einen geſchloſſenen Leiter in einer beſtimmten Richtung durchläuft, die Rotation eines Magneten bewirkt wird, — umgekehrt, — wenn der Leiter nicht durchſtrömt iſt, man aber den Magneten in derſelben Weiſe durch mechaniſche Mittel dreht, daß alsdann in dem Leiter ein Strom von entgegengeſetzter Richtung inducirt wird. Weber hat nun dieſe Umkehrung auch für den Fall nachgewieſen, daß die Längenaxe des Magneten ſelbſt die Rotationsaxe iſt und daß ein Stück dieſer Axe zugleich einen Theil des geſchloſſenen Leiters ausmacht, wie es bei demjenigen Rotationsverſuch der Fall iſt, welcher in Figur 227 meines Lehrbuchs der Phyſik (3. Aufl. 2. Bd. S. 242) dargeſtellt iſt und für welchen Frick in ſeiner »Phyſikaliſchen Technik« Seite 354 eine ſehr zweckmäßige Form angiebt.

Der Apparat, welchen Weber anwendet, um durch einen um ſeine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der unipolaren Induction bezeichnet, iſt Fig. 342 dargeſtellt. Ein cylindriſcher Stahlmagnet, *m*, war an beiden Enden mit Spitzen verſehen, welche in kleine Vertiefungen der eiſernen Klammern *a* und *b* eingeſetzt waren, wie man dies Figur 343 deutlicher ſieht. Dieſe Klammern waren auf das Brett aufgeſchraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In dieſe Klammern konnte man zwei große Magnete mit denjenigen Enden einſchieben, welche den entgegenſtehenden Polen des Magneten *m* entgegengeſetzt waren und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhen.

Die Umdrehung des Magneten *m* um ſeine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkſtelligt, deſſen Einrichtung ſich aus der Fig. 342 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder $8\frac{4}{7}$ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Meſſingſcheibe *s* befeſtigt, deren unteres Ende in Queckſilber eintauchte, welches ſich in dem Gefäße *g* befand.

Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Queckſilbergefäß *g* getaucht, das andere an der Klammer *b* befeſtigt, ſo wurde die

Fig. 342.

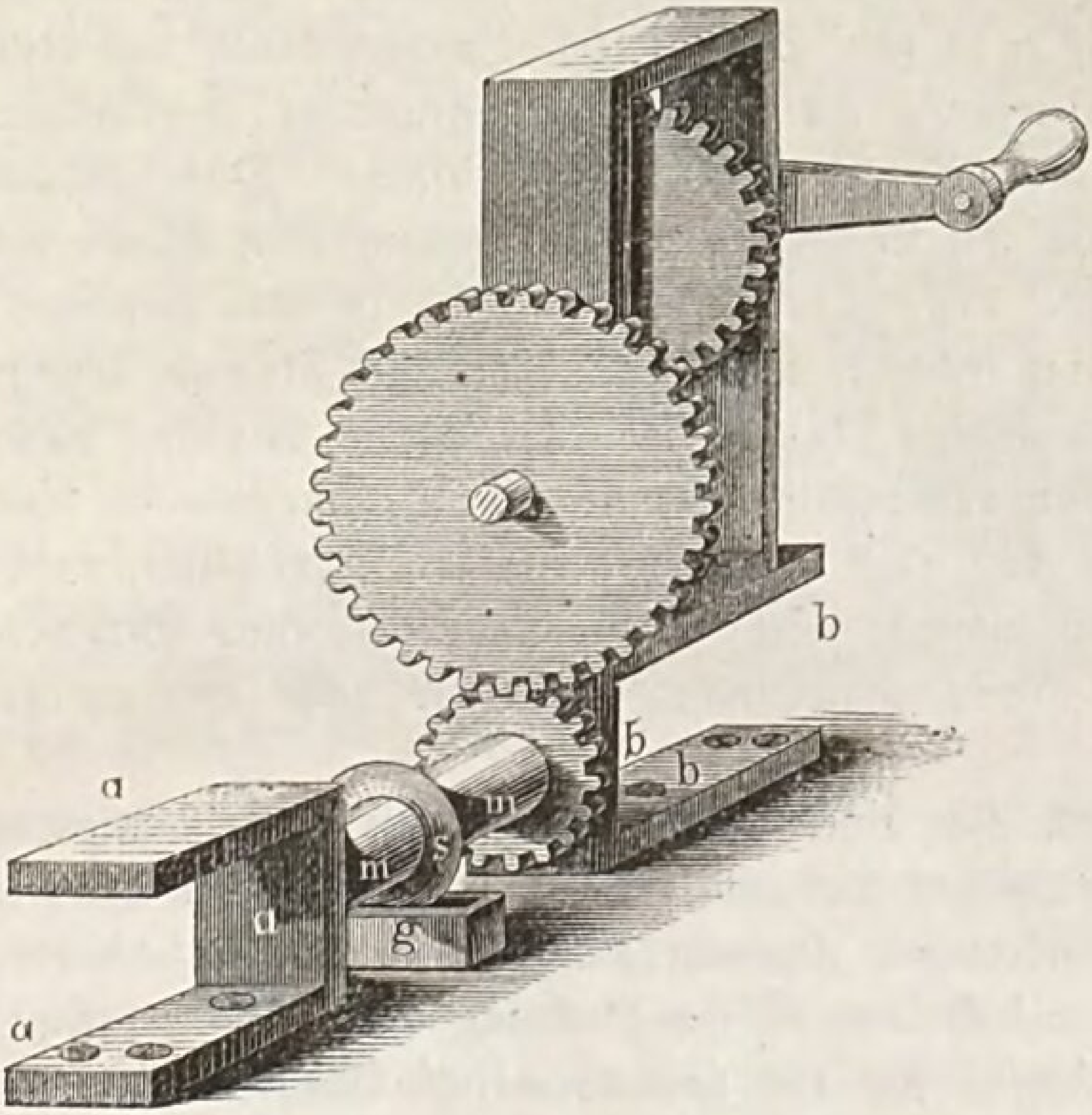
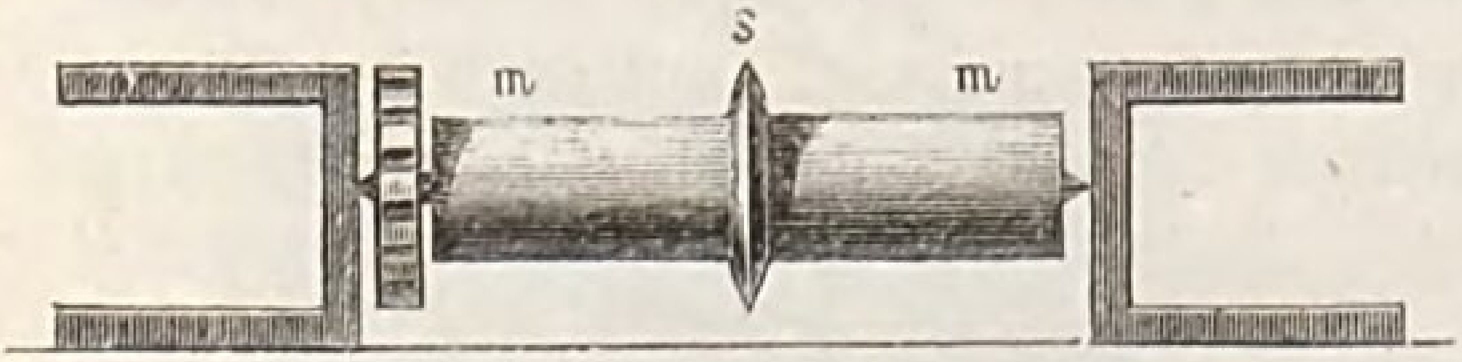


Fig. 343



Multiplicatornadel abgelenkt, ſobald man die Kurbel zu drehen begann.

Als Multiplicator wurde ein transportabeles Magnetometer angewandt, um deſſen Magnetſtab der Multiplicatordraht in 2000 Windungen herumgeführt war. Um die Kraft zu vermindern, mit welcher der Magnetometerſtab im magnetiſchen Meridian zurückgehalten wird, wurde ein 25pfündiger Magnetſtab etwa 2 Meter ſüdlich vom Magnetometer ſo aufgeſtellt, daß ſein Südende nach Norden kehrte; dadurch wurde natürlich die Empfindlichkeit des ſtrommeſſenden Apparates ſehr erhöht.

Die theoretiſche Betrachtung, durch welche Weber nachweiſt, daß in dieſem Fall eine Inducation ſtattfinden müſſe und durch welche auch die Benennung »unipolare Induction« gerechtfertigt wird, iſt folgende:

Man nimmt die Exiſtenz zweier magnetiſcher Fluida an, eines nördli-

chen und eines ſüdlichen, welche in den Molekülen eines Magneten in gleicher Menge vorhanden, aber von einander geſchieden ſind. Wird ein ſolcher Magnet bewegt, ſo wird in einem benachbarten Leiter ein galvaniſcher Strom nach bekannten Geſetzen inducirt. Dieſer Strom iſt ſo beſchaffen, daß er in zwei Ströme zerlegt werden kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen Fluidums, der andere durch die Bewegung des ſüdlichen Fluidums entſteht. Dieſe Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider magnetiſcher Fluida heiße im Allgemeinen eine bipolare Induction. Es iſt aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder bloß ein magnetiſches Fluidum bewegt wird und alſo der vom andern Fluidum inducirte Strom ſtets Null bleibt, oder das andere Fluidum bald poſitive, bald negative Ströme inducirt, deren Summe Null iſt, ſo daß auch hier bloß derjenige Strom bleibt, welcher vom erſten Fluidum inducirt wird. Dieſe Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetiſchen Fluidums heiße eine unipolare Induction.

Man denke ſich einen Leiter, welcher die Geſtalt eines horizontalen Kreiſes oder Ringes hat und bewege in der verticalen Axe dieſes Ringes einen bloß nördliches Fluidum enthaltenden Körper abwärts, ſo wird im Ring ein Strom in der Richtung des Pfeils p, Fig. 344, inducirt. Während ſich das nordmagnetiſche Theilchen von oben her der Ringebene nähert, nimmt die Stärke des inducirten Stromes zu, während es ſich unterhalb von der Ringebene entfernt, nimmt die Stromſtärke ab, ohne daß eine Veränderung in der Stromesrichtung ſtattfände.

Wird nun der, bloß nördliches Fluidum enthaltende Körper, nachdem er abwärts durch den Ring hindurchgegangen iſt, außerhalb des Ringes wieder hinaufgeführt, beſchreibt er alſo eine Bahn, ungefähr wie ſie durch

Fig. 344.

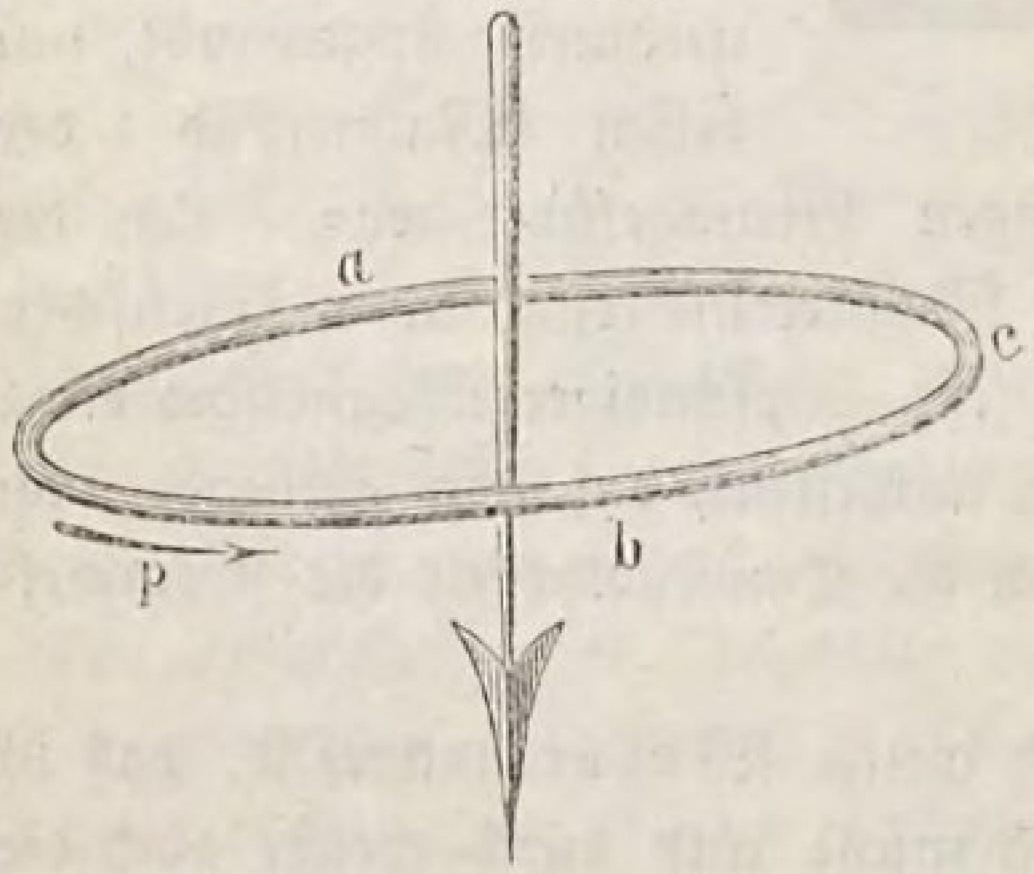
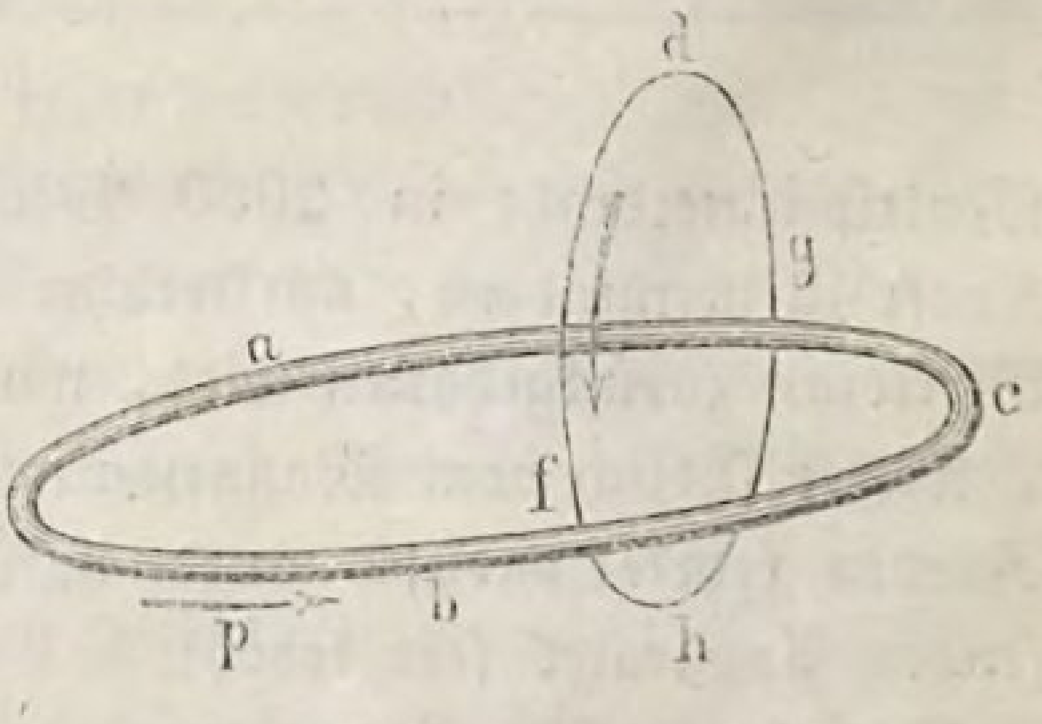


Fig. 345.



den Kreis $dfhg$, Fig. 345, dargeſtellt iſt, ſo wird er ſtets einen Strom in gleicher Richtung induciren.

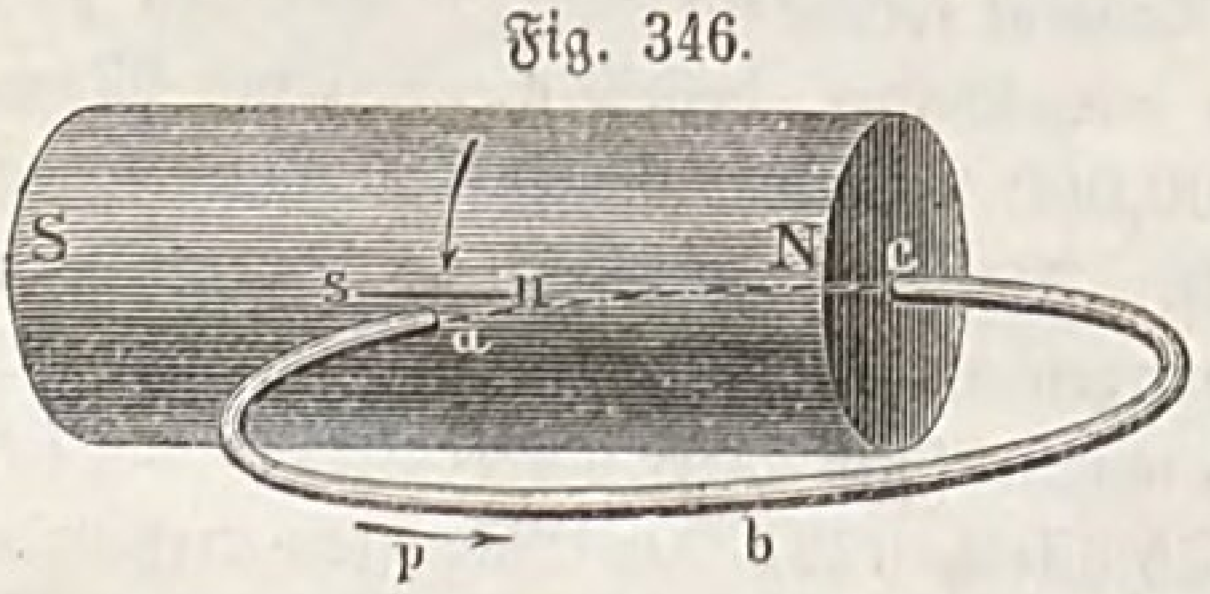
Enthielte der im Kreis $dfhg$ bewegte Körper nur ſüdliches Fluidum, ſo würde der im horizontalen Leiter inducirte Strom die entgegengeſetzte Richtung von der in Fig. 345 angedeuteten ſeyn.

In der eben angedeuteten Weiſe können wir freilich keine Induction zu Wege bringen, weil wir keinen Körper darſtellen können, in welchem bloß nördliches oder bloß ſüdliches Fluidum vorhanden wäre. — Wenn es aber auch keinen Körper giebt, welcher nur das eine Fluidum enthielte, ſo ſind doch in einem magnetiſchen Körper die magnetiſchen Flüſſigkeiten räumlich getrennt, und wir können uns ja die Wirkungen eines Magneten nach Außen dadurch hervorgebracht denken, daß das nördliche Fluidum im einen, das ſüdliche im andern Pol des Magnetſtabes geſammelt iſt. Wir können es nun ſo einrichten, daß der eine Pol eines Magnetſtabes, etwa der Nordpol in der Fig. 345 angedeuteten Weiſe, halb durch den Ring hindurch, halb um ihn herumgeht, während der andere Pol ganz außerhalb des Schließungsbogens bleibt.

Um ein derartiges Arrangement herzurichten, muß man einen Theil des Magneten ſelbſt in den Schließungsbogen einſchalten, wie es der Fall iſt, wenn man das eine Ende eines Leitungsdrahtes in der Mitte des einen Poles, das andere Ende an der Seite des Magnetſtabes anſetzt, wie es Fig. 346 angedeutet iſt, wo NS einen cylindriſchen Magnetſtab und abc einen Leitungsdraht darſtellt, zwiſchen deſſen Enden ein Stück des Magneten eingeſchaltet iſt.

Man ſieht nun leicht ein, daß, wenn bei dieſer Anordnung der Magnet um ſeine Axe rotirt, die einzelnen ſüdmagnetiſchen Partikelchen in S ſtets außerhalb des geſchloſſenen Leiters bleiben, daß ſie alſo keinen bemerkbaren Inductionsſtrom in demſelben bewirken können,

Fig. 346.



weil der Strom, den ſie auf der einen Hälfte ihrer Bahn induciren, demjenigen gleich und entgegengeſetzt iſt, welchen ſie induciren, während ſie die andere Hälfte ihrer Bahn durchlaufen. Anders verhält es ſich mit den nordmagnetiſchen Partikelchen in N. Sie bewegen ſich in Beziehung auf den Schließungsbogen gerade ſo, wie es in dem Fig. 345 dargeſtellten Falle angenommen wurde; die nordmagnetiſchen Partikelchen in N induciren alſo in der Richtung des Pfeiles p einen continuirlichen Strom, wenn der Magnet in der angegebenen Richtung rotirt.

Hier inducirt alſo der Nordpol einen Strom, während der Südpol des

Magneten keine entſprechende Induction bewirken kann, daher der Name der **unipolaren Induction**.

Wir haben hier freilich angenommen, daß alles nordmagnetiſche Fluidum in *N*, alles ſüdliche in *S* concentrirt ſey, was in der That nicht der Fall iſt, indem ſich in der ganzen Länge des Magnetſtabes noch magnetiſche Partikeln vorfinden. Was aber für den ganzen Magneten geſagt wurde, gilt ebenſo für die einzelnen magnetiſchen Partikelchen. Denken wir uns ein magnetiſches Partikelchen *ns*, deſſen Mittelpunkt bei ſeiner Rotation gerade den Punkt paſſirt, an welchem der Draht den Stahlcylinder berührt, ſo wird während der Rotation des Cylinders *n* durch den Ring hindurchgehn, *s* aber außerhalb deſſelben bleiben, alſo blos *n* einen continuirlichen, ſtets gleichgerichteten Strom induciren; ſo giebt es für jeden Punkt des Schließungsbogens innerhalb des Stahlcylinders eine Reihe von magnetiſchen Partikelchen, welche bei der Rotation mit ihrem einen Pole durch den Schließungsbogen hindurchgehn, mit dem andern aber blos außerhalb deſſelben ſich bewegen.

Man überſieht nun auch leicht, daß der Apparat Fig. 342 die Ausführung der Fig. 346 ſchematiſch dargeſtellten Anordnung iſt.

Aus den oben angeſtellten Betrachtungen ergeben ſich nun in Beziehung auf den unipolaren Inductionsſtrom noch folgende Geſetze.

Die Induction iſt unabhängig von der Länge des Cylinders, vorausgeſetzt, daß alle ſeine Theilchen gleich ſtark magnetiſch ſind, ſie iſt aber unter ſonſt gleichen Umſtänden dem Querſchnitt des Cylinders proportional.

In den oben beſchriebenen Apparat wurde ein Stahlcylinder von 269^{mm} Länge und 23^{mm} Durchmeſſer eingeſchaltet, deſſen magnetiſches Moment nach abſolutem Maaß 65,000,000 beträgt. Seine Pole wurden durch magnetiſche Vorlagen verſtärkt. Als nun die Kurbel ſo gedreht wurde, daß der Magnet 60 Umdrehungen in 7 Secunden machte, wurde der Magnetometerſtab ſo aus dem magnetiſchen Meridian abgelenkt, daß ſeiner neuen Gleichgewichtslage der Theilſtrich 622,5 der Magnetometerſcale entſprach. Nun wurde mit gleicher Geſchwindigkeit nach entgegengeſetzter Richtung gedreht und nun entſprach der Theilſtrich 736,5 der Gleichgewichtslage. Die durch den unipolaren Inductionsſtrom hervorgebrachte Ablenkung aus dem magnetiſchen Meridian betrug alſo in dieſem Falle

$$\frac{736,5 - 622,5}{2} = 57$$

Theilſtriche. Als halb ſo ſchnell gedreht wurde, war auch die durch den unipolaren Inductionsſtrom hervorgebrachte Ablenkung nur halb ſo groß.

Der Verſuch beſtätigte das in der **Weber**'ſchen Theorie enthaltene Geſetz in Beziehung auf die Richtung des unipolar inducirten Stromes;

auch die Stärke deſſelben ſtimmte, ſo weit es ſich bei ſolchen Verſuchen erwarten läßt, mit den theoretiſchen Beſtimmungen Weber's überein.

Die Erſcheinung der unipolaren Induction erhält eine beſondere Wichtigkeit bei Beantwortung der Frage, ob den beiden magnetiſchen Fluidis eine phyſiſche Exiſtenz zugeſchrieben werden müſſe, oder ob überall ſtatt ihrer die Annahme fortdauernder galvaniſcher Ströme im Innern der Magnete zuläſſig ſey. — Zur Erklärung der unipolaren Induction ſcheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der phyſiſchen Exiſtenz zweier magnetiſcher Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben ſcheint, ſondern auch zuerſt auf die Betrachtung dieſer Erſcheinung geführt hat. Ebenſo läßt ſich der Rotationsverſuch, durch deſſen Umkehrung die unipolare Induction erhalten wird, ſehr wohl durch die Annahme magnetiſcher räumlich getrennter Fluida, aber nicht durch die Ampériſchen Ströme erklären. (Gauß und Weber, Reſultate des magnetiſchen Vereins im Jahre 1839, Seite 63.)

Berichtigungen.

Seite 46 Zeile 10 v. U. iſt zu leſen Poiſſon's ſtatt Priſſon's.
» 74 » 2 v. U. l. ſchärfer ſtatt ſchiefer.
» 123 » 15 v. O. l. kennt ſtatt kommt.
» 201 Die Figur 75 iſt umzukehren.
» 238 Die ganze Stelle von »Hier mögte ſich aber u. ſ. w.« Zeile 8 v. O. bis »laſſe ich freilich dahin geſtellt ſein« Seite 239 Zeile 17 v. O. iſt ganz wegzuſtreichen.

Von dem Wunſche erfüllt, wo möglich eine Ausgleichung zwiſchen den ſtreitenden Theorien anzubahnen, habe ich mir hier eine Uebereilung zu ſchulden kommen laſſen, indem ich es ganz überſehen habe, daß das elektriſche Verhalten des Zinks gegen Waſſer und verdünnte Schwefelſäure längſt ermittelt iſt. Es iſt eine bekannte Thatſache, daß Zink in Berührung mit Waſſer und verdünnter Schwefelſäure negativ elektriſch wird, daß alſo das hervorragende Ende eines in Waſſer oder verdünnte Schwefelſäure eingetauchten Zinkſtücks freie negative Elektricität zeigen muß.

Ich hätte dies um ſo eher wiſſen können, als dieſer Gegenſtand in meinem Lehrbuch der Phyſik ausfürlich beſprochen wird.

Durch dieſe Thatſache fällt nun freilich der ganze Ausgleichungsverſuch von Seite 238 in ſich zuſammen.

Die Contacttheorie nimmt bei der Theorie der Säule das elektromotoriſche Verhalten der Metalle gegen Flüſſigkeiten (Elektrolyte) als eine Thatſache an, von welcher meines Wiſſens bis jetzt noch keine weitere Begründung verſucht worden iſt.

Die Anhänger der chemiſchen Theorie dagegen haben die elektriſche Erregung der verſchiedenen Metalle bei Berührung mit Flüſſigkeiten aus der chemiſchen Verwandtſchaft der Metalle zu den Beſtandtheilen der Elektrolyte herzuleiten verſucht, wie wir es S. 230 u. f. geſehen haben, wobei ſie ſich aber zu der Annahme genöthigt ſahen, daß eine ähnliche Polariſation, wie ſie in den Waſſertheilchen zwiſchen den Elektroden ſtattfindet, ſich auch in den Theilchen eines in die Flüſſigkeit eingetauchten Metallſtückes fortſetzt, ſo daß ſich das Metall gewiſſermaßen in Schichten von abwechſelnd poſitiven und negativen Molekeln abtheilt. Es dürfte jedoch ſchwer halten, einen experimentellen Beweis für die Exiſtenz eines ſolchen Polariſationszuſtandes in den Metallen beizubringen.

Seite 251 Zeile 1 v. O. leſe 237^{mm} anſtatt 233^{mm}.

» 252 » 12 v. O. l. 2,2083 ſtatt 22,083.

» — » 13 v. O. l. 2,21 ſtatt 22,1

» 292 » 13 v. U. l. $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} + \frac{s}{r}$, ſtatt $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} = \frac{s}{r}$,

» 306 » 7 v. O. ſoll heißen $w = s \frac{l.\,0{,}785}{\pi r^2} = s\,\frac{l}{d^2}$.

» 423 » 8 v. U. l. Magnetelektromotor ſtatt Magnetelektrometer.

» 511—514 Hier haben ſich in die Zahlenwerthe mehrere ſo ſtörende Fehler eingeſchlichen, daß für dieſe beiden Blätter ein Carton gedruckt werden mußte.

» 517 Den Factoren von d^2 in den beiden Werthen von P iſt ein o anzuhängen. In Folge deſſen heißt auch auf

» 518 der Werth von P:

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2} \tang \frac{M}{1720\, l d^2}$$

» 548 » 16 v. U. ſoll heißen pr. Secunde anſtatt pr. Stunde.

» 672 Die beiden Zeilen 5 und 4 v. U. ſollen heißen:

Winkel $A\alpha\alpha' = \Theta'$
Winkel $A\alpha n = \Theta$.

» 674 » 16 u. 17 v. U. ſollen heißen:

$\cos.\varphi = \cos.\,\Theta$
$\cos.\Theta' = -\sin.\,\Theta$.

» — » 10 v. U. iſt zu ſetzen $\cos.\Theta' = \sin.\Theta$ für $\cos.\Theta' = -\sin.\Theta$.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunſchweig iſt erſchienen:

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Phyſik und Meteorologie.

Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 1232 in den Text eingedruckten Holzſchnitten und 2 farbigen Kupfertafeln. 2 Bände gr. 8. Satinirtes Velinpap. geh. Subſcriptionspreis: 6 Thlr. 20 Sgr.

Wir zeigen hierdurch eine dritte, ſorgſam bearbeitete und vermehrte Auflage dieſes trefflichen Buches an. Verfaſſer und Verleger haben ſich beſtrebt, auch dieſer neuen Auflage die größeſte Sorgfalt zu widmen.

So raſche und ehrende Anerkennung eines Werkes wird ſchon ſeine vollgültige Empfehlung begründen; es darf aber hinzugefügt werden, daß Müller's Lehrbuch der Phyſik auf den meiſten deutſchen Univerſitäten und höheren techniſchen Lehranſtalten den Vorträgen zum Grunde gelegt oder den Zuhörern zum Nachſtudium empfohlen wird, und daß es die lebhafteſte Theilnahme und Anerkennung unter allen denen gefunden hat, welchen das Selbſtſtudium der Phyſik, als Hülfswiſſenſchaft, unentbehrlich geworden iſt. — Der Mediziner, der Chemiker, der Pharmaceut, der Techniker, der Agronom, der Forſt-, Berg- und Hüttenmann, der Architekt ꝛc., kann der phyſikaliſchen Kenntniſſe, jeder Gebildete kann ihrer nicht mehr entbehren.

Der Einfluß, ja die Macht, welche die Naturwiſſenſchaften im Allgemeinen in unſeren Tagen erlangt haben, die Unabweisbarkeit des Studiums der Phyſik im Beſondern, ſtellt um ſo dringender das Bedürfniß heraus, daß dieſe Wiſſenſchaft durch zweckmäßige Lehrbücher einem größeren Kreiſe möglichſt zugängig gemacht werde; von dieſem Standpunkte ging der Verfaſſer bei der Bearbeitung des Werkes aus und es gelang ihm, die Lehren der Phyſik in wahrhaft würdiger Weiſe populär und allgemein verſtändlich zu machen, ohne den ſtreng-wiſſenſchaftlichen Anforderungen etwas zu vergeben. Die äußere Ausſtattung iſt eine ſolche, welche die Beſtrebungen des Verfaſſers unterſtützt; 1232 vortrefflich ausgeführte Holzſtiche ſind dem Texte eingedruckt und vermehren die Deutlichkeit und Verſtändlichkeit ungemein. — Der Subſcriptionspreis iſt für dieſe Ausſtattung ein überaus billiger.

Supplemente zur Erſten Auflage von Müller-Pouillet's Lehrbuch der Phyſik und Meteorologie.

Von Dr. **Joh. Müller,** Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau. Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzſchnitten. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 1 Thlr.

Supplemente zur Zweiten Auflage von Müller-Pouillet's Lehrbuch der Phyſik und Meteorologie.

Von Dr. **Joh. Müller,** Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau. Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzſchnitten. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 12 Sgr.

Von vielen Beſitzern der weit verbreiteten erſten und zweiten Auflage des Müller-Pouillet'ſchen Lehrbuches der Phyſik iſt uns der dringende Wunſch ausgeſprochen, Supplementhefte für die beiden erſten Auflagen zu veranſtalten, durch welche dieſelben ins wiſſenſchaftliche Gleichgewicht mit der dritten Auflage geſetzt würden.

Dieſe Wünſche hat Herr Profeſſor Müller erfüllt; es iſt demnach ein Supplementheft zur erſten Auflage und ein ſolches zur zweiten Auflage des genannten Werkes erſchienen, wodurch beide Auflagen der dritten an Werth gleich geſtellt werden.

Grundzüge der Kryſtallographie.

Von Dr. Joh. Müller, Profeſſor der Phyſik an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau. Mit 123 in den Text eingedruckten Holzſchnitten. gr. 8°. geh. Satin. Velinpap. 12 Sgr.

Die Kenntniß der Kryſtallographie iſt bei dem jetzigen Standpunkte der Wiſſenſchaft dem Chemiker ſo unentbehrlich, als ſie es dem Mineralogen iſt. Ihr Verſtändniß zu erleichtern, ſie einem größeren Kreiſe, namentlich den Chemikern, zugängiger zu machen, iſt die Aufgabe dieſes Werkchens, durch welches der Verfaſſer möglichſte Klarheit in der Wiſſenſchaft zu vermitteln bemüht geweſen iſt.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunſchweig iſt erſchienen:

Grundriß der Phyſik und Meteorologie.

Für Lyceen, Gymnaſien, Gewerbe- und Realſchulen, ſo wie zum Selbſtunterrichte, von Dr. Joh. Müller, Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau. Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzſchnitten. gr. 8. Fein Velinpap. geh. 2 Thlr.

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Phyſik hat in drei ſich raſch folgenden Auflagen, für den Unterricht auf höheren Lehranſtalten und für das tiefere Selbſtſtudium, ſo ungetheilten Beifall, ſo weite Verbreitung gefunden, daß der Herr Verfaſſer von vielen Seiten angegangen wurde, einen kürzern Grundriß für den Gebrauch an Lyceen, Gymnaſien, Gewerbe- und Realſchulen, wie auch für den erſten Selbſtunterricht, folgen zu laſſen; dieſer wird hiermit dem Publikum übergeben.

Bei der Bearbeitung iſt der Verfaſſer dem Gange ſeines großen Lehrbuchs gefolgt und hat einen bedeutenden Theil der trefflichen Abbildungen deſſelben in den Grundriß hinübergenommen. Er ging von der Anſicht aus, daß die Grundgeſetze der Wiſſenſchaft auch in den Schulanſtalten gründlich und klar vorgetragen werden müſſen, daß ihre zu große Abkürzung in der Darſtellung nur nachtheilig wirken kann, wogegen dieſer Unterricht nicht mit zu vielen Einzelnheiten und Entwickelungen überladen werden dürfe.

Wir empfehlen das Werk den Schulbehörden und allen Denen, welchen ein kurzer Ueberblick der Phyſik von Wichtigkeit iſt: für ein tieferes mehr ins Einzelne gehendes Selbſtſtudium muß auf das größere Lehrbuch verwieſen werden; aber der Grundriß wird auch in dieſer Hinſicht jüngeren Pharmaceuten, Forſtmännern, Landwirthen, Gewerbtreibenden ꝛc. genügen.

Im Verlage der Unterzeichneten iſt ferner erſchienen:

Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie,

in Verbindung mit mehren Gelehrten herausgegeben von Dr. J. Liebig, Dr. J. C. Poggendorff und Dr. Fr. Wöhler, Profeſſoren an den Univerſitäten zu Gießen, Berlin und Göttingen. Mit Kupfern und in den Text eingedruckten Holzſchnitten. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Erſter Subſcriptionspreis à Lief. 16 Ggr.

Erſchienen ſind: erſte bis achtzehnte Lieferung.

Die Herren Herausgeber dieſes Wörterbuchs der Chemie haben es lebhaft bedauert, daß häufig Störungen im regelmäßigen Fortgange des vom Publikum ſo günſtig aufgenommenen Werks eingetreten ſind, deren Beſeitigung nicht immer in ihrem guten Willen lag.

Der Hauptgrund der Stockungen und die Hauptſchwierigkeit für den regelmäßigen Fortgang lag in der durch amtliche und wiſſenſchaftliche Arbeiten vielfach überlaſteten Stellung der Herren Herausgeber; ſie konnten die eigentliche Redaction nicht genügend überwachen, wodurch Verzögerungen in der Einlieferung der Artikel, Unterbrechungen u. ſ. w. herbeigeführt wurden.

Um allen Anſtänden und den Urſachen der Verzögerung, welche die Erfahrung herausgeſtellt hat, vollſtändig zu begegnen und eben ſowohl einen raſchen als regelmäßigen Fortgang des Unternehmens zu ſichern, iſt eine eigne Redaction für das Wörterbuch begründet worden.

Dieſe Redaction hat Herr Dr. Hermann Kolbe übernommen, der ſich zu dem Ende nach Braunſchweig überſiedelte und ihr ſeine Kräfte vorzugsweiſe widmet; die Herren Herausgeber ſind nach wie vor eifrige Mitarbeiter geblieben.

Damit ſind alle Schwierigkeiten vollſtändig gehoben und wir glauben nachhaltig einen regelmäßigen und raſchen Fortgang verbürgen zu können, der ſich durch promptes Erſcheinen der folgenden Lieferungen am beſten bethätigen wird.

Die 13. Lieferung wurde im December 1847 ausgegeben, die 14. im März d. J., die 15. im September, die 16. im October, die 17. im November, die 18. im December, und die Erſcheinung der neunzehnten Lieferung darf im Februar d. J. erwartet werden.

Gleichzeitig bringen wir auch zur Anzeige, daß für die beiden erſten Bände einige Supplementhefte vorbereitet werden, um die Ergebniſſe neuerer Arbeiten den Beſitzern des Werkes zugängig zu machen. Auch von dieſen erſcheint das erſte Heft im Anfange d. J.

Braunſchweig, im Januar 1849.

Friedrich Vieweg und Sohn.
Eduard Vieweg.

Bayerische StaatsBibliothek

Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Müller, Johann Heinrich Jacob,

Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik in zwei Bänden

Bd.: 1

(1849 - 1852)

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.56-m(1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763647-1